



TUGAS AKHIR - TL141584

**PENGARUH PENAMBAHAN ALUMINIUM (Al) TERHADAP
SIFAT KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADUAN
Fe-Mn-Al MELALUI PROSES PENGECORAN**

HUFFAL AZHAR FADLY
NRP. 2712100 034

Dosen Pembimbing
Dr.Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.
Sutarsis, S.T., M.Sc.

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016



FINAL PROJECT -TL141584

**EFFECT OF ALUMINIUM(Al) ADDITION ON
HARDNESS AND MICROSTRUCTURE OF Fe-Mn-Al
ALLOY BY CASTING PROCESS**

HUFFAL AZHAR FADLY
NRP. 2712100 034

Advisor
Dr.Eng. HostaArdhyananta, ST, M.Sc
Sutarsis, S.T., M.Sc.

Material and Metallurgical Engineering Dept.
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

**Pengaruh Penambahan Aluminium (Al) terhadap Sifat
Kekerasan dan Struktur Mikro Paduan
Fe-Mn-Al melalui Proses Pengecoran**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Metalurgi Manufaktur

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

HUFFAL AZHAR FADLY

NRP 2712100034

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr.Eng. Hosta Ardhyana, S.T., M.Sc.....(Pembimbing 1)
2. Sutarsis, S.T., M.Sc.....(Pembimbing 2)



Pengaruh Penambahan Aluminium (Al) terhadap Sifat Kekerasan dan Struktur Mikro Paduan Fe-Mn-Al melalui Proses Pengecoran

Nama : Huffal Azhar Fadly
NRP : 2711200034
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing : Dr.Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.
Sutarsis, S.T., M.Sc.

Abstrak

Paduan Fe-Mn-Al mulai digunakan sebagai pengganti baja tahan karat pada beberapa produk komersial yang membutuhkan kekuatan yang tinggi. Pada penelitian ini dilakukan variasi penambahan Aluminium pada paduan Fe-Mn-Al untuk dapat mengetahui pengaruhnya terhadap nilai kekerasan dan morfologi strukturmikro pada paduan tersebut. Penambahan Aluminium pada paduan ini dilakukan dengan pemaduan variasi komposisi Aluminium yaitu 0, 9, 10, 11, dan 12%wt Al. Proses pemaduan dilakukan melalui peleburan dengan electric arc furnace. Peleburan dilakukan pada temperature sekitar 1600⁰C, kemudian didinginkan dalam furnace hingga temperatur ruang. Pengujian yang dilakukan pada studi ini adalah pengujian kekerasan (metode brinell), optical emission spectrometry (OES), difraksi sinar X (XRD), dan Metalografi. Dari pengujian OES diketahui terdapat penurunan unsur paduan setelah peleburan. Hasil XRD menunjukkan terbentuknya paduan γ Fe. Sifat kekerasan pada paduan Fe-Mn-Al meningkat dengan adanya penambahan Aluminium. Pengamatan metalografi menunjukkan terbentuknya fasa γ Fe dan terbentuknya karbida κ (Fe,Mn)₃AlC, akibat komposisi Aluminium dan karbon yang meningkat.

Kata kunci : Fe-Mn-Al, Kekerasan, Struktur mikro, Aluminium

Effect of Aluminium (Al) Addition on Hardness and Microstructure of Fe-Mn-Al Alloy by Casting Process

Name : Huffal Azhar Fadly
NRP : 2712100034
Department : Materials and Metallurgicals Engineering
Supervisor : Dr.Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc
Sutarsis, S.T., M.Sc

Abstract

Fe-Mn-Al alloy began to be used to replace stainless steel in several commercial products that have high strength. In this research, the adding of Aluminium were alloyed into Fe-Mn-Al alloys to know the effect of Aluminium adding on the hardness and microstructure of the alloying. The Aluminium's adding in this alloy were alloyed with Aluminium varying 0, 9, 10, 11, and 12% weight (%wt). The alloying process was conducted through casting inside an electric arc furnace with crush at 1600 °C, then cooled down in the furnace until the temperature reached ambient temperature. Test being conducted in this study were Hardness Test (Brinell Methode), Optical Emission Spectrometry (OES), X-ray Diffraction Test (XRD) and Metallographic Test. The result of OES test showed the decreasing of the alloying elements after alloying process. The result of XRD test showed that γ Fe phase were formed. The hardness of Fe-Mn-Al alloy showed improvements as the Aluminium increased. Metallographic observation showed that γ Fe phase and $(Fe,Mn)_3AlC$ κ -carbides were formed as the increasing of Aluminium and carbon contents in this alloy.

Keywords: Fe-Mn-Al, hardness, microstructure, Aluminium.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala anugerah dan petunjuk-Nya, penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul :

“Pengaruh Penambahan Aluminium (Al) Terhadap Sifat Kekerasan dan Struktur Mikro Paduan Fe-Mn-Al Melalui Proses Pengecoran”

Laporan tugas akhir ini disusun untuk memenuhi syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Kedua orang tua, Bapak Nuril Huda dan Ibu Zanuba Inti Salamah yang selalu mendo'akan dan menyemangati serta memberikan dukungan kepada saya.
2. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyanta,S.T.,M.Sc selaku dosen pembimbing 1 Tugas Akhir;
3. Bapak Sutarsis, S.T.,M.Sc selaku dosen wali sekaligus dosen pembimbing 2 Tugas Akhir;
4. Bapak Dr. Agung Purniawan selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS;
5. Dosen Tim Penguji seminar dan sidang, serta seluruh dosen dan staff Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS;
6. Kepada para petugas dan karyawan Laboratorium Teknik Material dan Metalurgi;
7. Kepada anggota Jalan Menuju Surga yang selalu memberikan kesenangan dalam hidup;
8. Kepada mahasiswa anggota Laboratorium Inovasi Material yang selalu memberikan bantuan baik moral maupun material;
9. Keluarga, relasi, dan seluruh orang berada disekeliling saya.

Penulis berharap proposal tugas akhir ini mampu membantu pengembangan material untuk otomotif. Penulis menyadari bahwa penyusunan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat diharapkan.

Surabaya, 07 Januari 2016

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Besi	5
2.1.1 Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C.....	7
2.1.2 Pengaruh Unsur Paduan pada Baja	8
2.2 Pengaruh Unsur Mangan (Mn) pada Paduan Besi	11
2.3 Aluminium	15
2.4 Paduan Besi-Aluminium (Fe-Al)	17
2.5 Paduan Aluminium-Mangan (Al-Mn)	19
2.6 Paduan Fe-Mn-Al.....	20
2.7 Ternary Diagram Fe-Mn-Al.....	21
2.8 Penelitian Sebelumnya.....	22
2.9 Pengecoran.....	23
2.9.1 Pola	24
2.9.2 Cetakan	24
2.9.3 Cetakan Pasir	26
2.9.4 Toleransi Penyusutan.....	28
2.9.5 Pemeriksaan Coran.....	29



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

2.9.6 Finishing dan Defect dalam proses Pengecoran.....	31
--	----

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian	33
3.2 Peralatan dan Bahan Penelitian.....	34
3.2.1 Alat.....	34
3.2.2 Bahan	36
3.3 Prosedur Penelitian	38
3.3.1 Preparasi Bahan.....	38
3.3.2 Pengujian Spesimen	39
3.3.2.1 Pengujian Komposisi OES.....	39
3.3.2.2 Pengujian XRD.....	40
3.3.2.3 Pengujian Metalografi.....	41
3.3.2.4 Pengujian Kekerasan.....	41
3.3.2.5 Pengujian EDX	42
3.4 Rancangan Penelitian	43

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Coran Fe-Mn-Al.....	45
4.2 Komposisi Kimia Paduan Coran Fe-Mn-Al.....	46
4.3 Pengujian Kekerasan.....	47
4.4 Pengamatan Hasil XRD Coran Fe-Mn-Al	49
4.5 Pengamatan Struktur Mikro Coran	50

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	57

DAFTAR PUSTAKA LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kurva pendinginan besi murni.....	6
Gambar 2.2	Sistem Fe-Fe ₃ C	7
Gambar 2.3	Pengaruh sejumlah unsur yang terlarut Dalam α ferit terhadap kekerasan	10
Gambar 2.4	Mangan sulfida (abu-abu gelap, bulat) dan titanium nitrida (abu-abu terang, angular) dengan etsa 2% nital	11
Gambar 2.5	Diagram Fasa Fe-Mn	12
Gambar 2.6	Pengaruh unsur Mn terhadap temperatur austenit.....	13
Gambar 2.7	Kurva tegangan-regangan paduan Fe-Mn.....	14
Gambar 2.8	Struktur kristal FCC.....	16
Gambar 2.9	Pengaruh kadar aluminium dalam paduan Fe-Al terhadap kekuatan luluh dan elongasi	18
Gambar 2.10	Diagram fasa Fe-Al	19
Gambar 2.11	Diagram fasa Al-Mn	20
Gambar 2.12	Diagram fasa ternary paduan Fe-Mn-Al	21
Gambar 3.1	Diagram Alir.....	33
Gambar 3.2	Dimensi tampak depan <i>electric arc furnace</i> ..	34
Gambar 3.3	Timbangan digital.....	35
Gambar 3.4	Gergaji mesin.....	35
Gambar 3.5	Mikroskop optik Olympus BX51M-RF.....	36
Gambar 3.6	Baja AISI 1006	37
Gambar 3.7	Ferromangan medium karbon.....	37
Gambar 3.8	Aluminium ingot.....	38
Gambar 3.9	Prinsip kerja OES	39
Gambar 3.10	Prinsip kerja XRD	40
Gambar 3.11	Alur pantul sinar pada metalografi	41
Gambar 3.12	Skema EDX	42
Gambar 3.13	Fasa target dengan komposisi penambahan 9-12%wt Al dalam diagram fasa ternery Fe-Mn-Al	43



Proposal Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

Gambar 4.1	Hasil coran Fe-Mn-Al.....	45
Gambar 4.2	Nilai kekerasan dari pengaruh Penambahan %wt Al	48
Gambar 4.3	Hasil Pengujian XRD coran paduan Fe-Mn-Al dengan penambahan %wt Al	49
Gambar 4.4	Struktur mikro paduan Fe ₂₆ Mn-0Al Perbesaran 500x.....	52
Gambar 4.5	Struktur mikro paduan Fe ₂₆ Mn-9Al Perbesaran 500x.....	53
Gambar 4.6	Struktur mikro paduan Fe ₂₆ Mn-10Al Perbesaran 500x.....	53
Gambar 4.7	Struktur Mikro Paduan Fe ₂₆ Mn-11Al perbesaran 500x	54
Gambar 4.8	Struktur Mikro Paduan Fe ₂₆ Mn-12Al perbesaran 500x.....	54
Gambar 4.9	Hasil pengujian EDX pada batas butir Paduan	55
Gambar 4.10	Titik pengujian komposisi EDX pada batas butir	55



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi kimia pengotor pada besi ingot	5
Tabel 2.2 Sifat mekanik besi ingot	5
Tabel 2.3 Sifat mekanik aluminium	17
Tabel 2.4 Temperatur penuangan untuk berbagai coran	27
Tabel 2.5 Toleransi penyusutan untuk logam cor yang penting	28
Tabel 3.1 Rancangan Penelitian	43
Tabel 4.1 Komposisi Fe-Mn-Al melalui pengujian OES	46
Tabel 4.2 Nilai kekerasan dari pengaruh penambahan %wt Al	47



(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Bahan logam dapat dikelompokkan dalam dua kelompok yaitu logam besi (ferro) dan logam bukan besi (non ferro). Logam ferro yaitu suatu logam paduan yang terdiri bahan dasar besi (Fe) dengan karbon (C) dan juga mengandung beberapa unsur lain seperti mangan, fosfor, belerang dan lainnya. Contoh logam ferro misalnya besi tuang, besi tempa dan baja. Logam non ferro yaitu logam yang tidak mengandung unsur besi (Fe) misalnya tembaga, aluminium, timah dan lainnya (Avner, 1984).

Paduan ferro lebih banyak diproduksi dibandingkan paduan logam lainnya. Penggunaan paduan ferro yang besar ini disebabkan oleh tiga faktor diantaranya jumlah kandungan besi yang berada pada kerak bumi; besi dan paduannya kemungkinan diproduksi dengan ekstraksi, pemurnian, pemaduan, dan fabrikasi dengan ekonomis; serta paduan ferro sangatlah serbaguna dengan menyesuaikan kebutuhan sifat fisik dan mekaniknya (Callister, 2010).

Paduan ferro umumnya menggunakan penambahan Nikel (Ni) sebagai unsur paduan utama disamping penambahan karbon. Akan tetapi, dengan pertimbangan harga Nikel yang kurang ekonomis, digunakan paduan lain yang memiliki efek yang hampir setara dengan penambahan Nikel pada paduan ferro. Penambahan Mangan (Mn) pada paduan ferro digunakan untuk menggantikan Nikel sehingga diperoleh paduan yang memiliki sifat setara dengan penambahan Nikel dengan biaya yang lebih ekonomis. Sifat mekanik dari paduan Fe-Mn lebih banyak dipengaruhi oleh komposisi Mangan pada paduan. Kekuatan luluh paduan Fe-Mn meningkat seiring dengan penambahan Mn ke dalam paduan, ketika temperatur transisi dari ulet ke *brittle* menurun seiring dengan penambahan Mn (Kim dkk, 2014).

Penelitian yang dikembangkan akhir-akhir ini lebih banyak mengutamakan peningkatan kekuatan dari baja dengan pemaduan



beberapa elemen seperti penambahan Aluminium pada paduan Fe-C atau Fe-Mn-C untuk memperoleh kekuatan yang diinginkan. Paduan ini dinamakan *high-Al steel*, banyak digunakan pada frame kendaraan dan industri perkeretaapian (Phan dkk, 2014).

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Sebagai tambahan terhadap kekuatan mekaniknya yang sangat meningkat dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dsb, secara satu persatu atau bersama-sama, memberikan juga sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah, dsb. Material ini dipergunakan di dalam bidang yang luas bukan saja untuk peralatan rumah tangga tapi juga dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi, dsb (Surdia, 1984).

Paduan Fe-Mn-Al mulai digunakan sebagai pengganti baja tahan karat pada beberapa produk komersial yang membutuhkan kekuatan yang tinggi. Meskipun ketahanan korosi dari paduan Fe-Mn-Al lebih tinggi dibandingkan dengan baja karbon, ketahanan korosi paduan ini masih kalah dibandingkan dengan baja tahan karat. Karena ketahanan terhadap karat yang masih lebih rendah dibanding baja tahan karat, penggunaannya pada dunia industri masih terbatas (Su dkk, 2007). Fe-Mn-Al memiliki fasa yang terdiri dari ferit dan austenit, hal ini dikarenakan Mn adalah pembentuk dan penstabil austenit dan Al adalah pembentuk dan penstabil ferit. Semakin tinggi kadar Mn pada paduan maka semakin tinggi pula proporsi fasa austenit pada paduan. Jika paduan Fe-Mn-Al memiliki kadar Al yang rendah sedangkan kadar Mn tinggi fasa yang terbentuk adalah austenit pada temperatur ruang (Chiou dkk, 2004). Semakin tinggi kadar Al pada paduan Fe-Mn-Al hingga 10% Al menyebabkan fasa ferit pada paduan proporsinya meningkat. Pengaruh meningkatnya kadar Al pada paduan Fe-Mn-Al yaitu meningkatkan kekuatan tarik yang dicapai hingga 780 Mpa dengan regangan hingga 30% (Seol dkk, 2012).



Dengan melihat kemampuan unsur paduan Aluminium dalam mempengaruhi sifat mekanik dan juga strukturmikro pada paduan tersebut, maka diperlukan riset lebih mendalam tentang pengaruh unsur paduan Al. Dengan memberikan variasi komposisi pada paduan Fe-Mn-Al, maka dapat dilihat hal-hal yang dipengaruhi oleh Aluminium terutama pada sifat kekerasan dan juga strukturmikro yang terbentuk.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang menjadi bahasan pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi penambahan Aluminium (Al) terhadap kekerasan paduan Fe-Mn-Al?
2. Bagaimana pengaruh variasi penambahan Aluminium (Al) terhadap struktur mikro paduan Fe-Mn-Al?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Temperatur peleburan dianggap homogen.
2. Pemaduan dianggap homogen.
3. Pengaruh dari kelembapan dan oksigen dianggap tidak ada.
4. Pengaruh dari pengotor dianggap tidak ada.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa pengaruh variasi penambahan Aluminium (Al) terhadap kekerasan paduan Fe-Mn-Al.
2. Menganalisa pengaruh variasi penambahan Aluminium (Al) terhadap struktur mikro paduan Fe-Mn-Al.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk mengetahui pengaruh penambahan Aluminium (Al) terhadap kekerasan dan strukturmikro baja paduan Fe-Mn-Al sehingga dapat digunakan dalam pengembangan penelitian selanjutnya.



(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Besi

Besi adalah bahan yang paling penting dalam teknik pemaduan logam. Pada bentuk hampir murni, yang biasa disebut sebagai besi *ingot*, penggunaan besi banyak diaplikasikan pada saluran drainase, rangka bangunan, beberapa komponen mesin cuci, dan sebagainya. Komposisi kimia pengotor dan sifat mekanik pada besi ingot dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2 sebagai berikut:

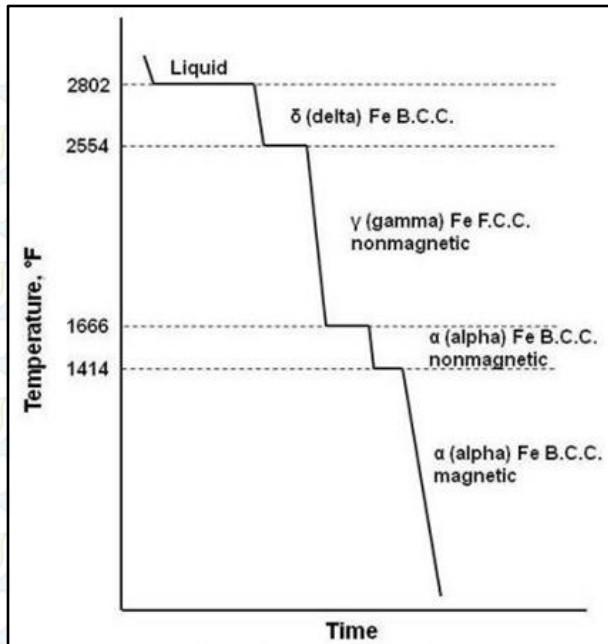
Tabel 2.1. Komposisi kimia pengotor pada besi ingot (Avner, 1974).

Unsur pengotor	Komposisi (%wt)
Carbon	0,012
Manganese	0,017
Phosphorus	0,005
Sulfur	0,025
Silicon	trace

Tabel 2.2. Sifat mekanik besi ingot (Avner, 1974).

Tensile strength	40.000 psi
Elongation	40 persen
Rockwell B hardness	30

Besi merupakan logam allotropik, yang artinya besi memiliki lebih dari satu tipe *lattice structure* bergantung pada temperatur. Kurva pendinginan untuk besi murni digambarkan pada Gambar 2.1.



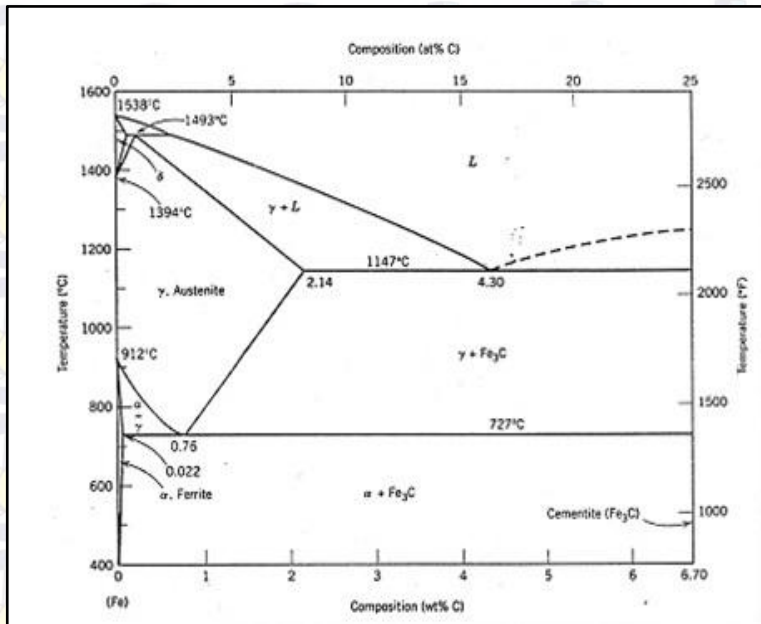
Gambar 2.1. kurva pendinginan besi murni (Avner, 1974).

Ketika besi murni didinginkan mencapai temperatur 2800°F, struktur yang terbentuk yaitu b.c.c. (body centered cubic) sebagai δ (delta). Saat pendinginan mencapai temperatur 2554°F, fasa berubah dan atom menyusun diri membentuk fasa γ (gamma), dengan struktur f.c.c (face-centered cubic) dan bersifat non magnetik. Pada saat temperatur pendinginan mencapai 1666°F, fasa berubah dari besi gamma nonmagnetik f.c.c berubah menjadi besi α (alpha) nonmagnetik b.c.c. Hingga pada temperatur 1414°F, besi alpha berubah menjadi magnetik tanpa perubahan struktur lattice (Avner, 1974).



2.1.1 Diagram Fasa Fe-Fe₃C

Paduan Fe-C yang mengandung sekitar 1,2% carbon dan dengan jumlah yang sangat sedikit dari unsur pengotor dinamakan baja karbon. Efek penambahan paduan unsur lain akan sangat berpengaruh terhadap diagram Fe-C tersebut.



Gambar 2.2. Sistem Fe-Fe₃C (Smith, 1976).

Fasa direpresentasikan pada temperatur yang berbeda dengan pendinginan sangat lambat pada paduan Fe-C dengan unsur carbon hingga 6,67% ditunjukkan pada Gambar 2.2. Diagram fasa ini bukanlah diagram ekuilibrium yang sebenarnya sejak senyawa intermetalik karbida besi (Fe₃C) atau yang dinamakan sementit bukanlah fasa ekuilibrium yang sebenarnya. Pada kondisi tertentu sementit akan terdekomposisi menjadi fasa yang lebih stabil sebagai grafit dan besi. Bagaimanapun juga, sejak terbentuknya Fe₃C, seluruh proses dianggap stabil dan



dianggap sebagai fasa yang “ekuilibrium”. Karena alasan tersebut, terbentuklah diagram fasa seperti pada Gambar 2.2 (Smith, 1976).

Pada diagram Fe-Fe₃C terdapat empat fasa solid yaitu fasa α ferit, γ austenit, δ ferit, dan sementit (Fe₃C). Fasa-fasa solid tersebut didiskripsikan sebagai berikut: α Ferit, larutan padat dari karbon dalam besi α . Pada diagram fasa mengindikasikan bahwa karbon terlarut dalam ferit dengan kelarutan maksimum yaitu 0,022% pada temperatur 727°C. Kelarutan karbon menurun dengan turunnya temperatur hingga mencapai 0,008 persen pada 0°C. Atom karbon yang berukuran sangat kecil menyebabkan atom karbon mengisi secara interstisi pada lattice kristal besi (Smith, 1976).

Austenit. Larutan padat dari karbon dalam besi γ yang dinamakan austenit. Dengan kelarutan karbon dalam austenit maksimum 2,14% pada 1147°C dan menurun hingga 0,76% pada 727°C. Seperti halnya ferit, atom karbon menyisip ke dalam lattice kristal besi, akan tetapi atom karbon yang menyusup ke dalam austenit lebih banyak sehingga terbentuk f.c.c. lattice.

δ Ferit. Larutan padat karbon dalam besi δ yang dinamakan δ ferit. Memiliki kelarutan karbon maksimum dalam δ ferit hingga 0,09% pada temperatur 1945°C.

Sementit. Senyawa intermetalik Fe₃C yang dinamakan sementit. Karbida besi (Fe₃C) mengandung 6,67% C dan 93,3% Fe. Sementit yang memiliki sifat keras dan getas, struktur kristal orthorhombic yang terbentuk yaitu dengan 12 atom besi dan 4 atom karbon per unit sel (Smith, 1976).

2.1.2 Pengaruh Unsur Paduan pada Baja

Baja karbon sebenarnya memiliki sifat yang cukup baik bila digunakan dengan persyaratan kekuatan dan keuletannya serta beberapa sifat lain tidak terlalu tinggi, baja karbon juga cukup baik digunakan pada temperatur kamar dan tidak terlalu korosif. Akan tetapi, pengaplikasian proses tempering untuk menghilangkan tegangan internal pada baja karbon justru



menurunkan kekuatan serta kekerasannya. Sehingga dengan menambahkan beberapa unsur pada paduan tersebut, kesulitan yang dialami bisa diselesaikan. Unsur paduan ditambahkan pada baja dengan berbagai pertimbangan diantaranya menurut Avner (1974) yaitu:

- a. Meningkatkan hardenability
- b. Memperbaiki kekuatan pada temperatur kamar
- c. Memperbaiki sifat mekanik pada temperatur tinggi atau rendah
- d. Memperbaiki ketangguhan pada kekerasan atau kekuatan tertentu
- e. Meningkatkan sifat tahan aus
- f. Meningkatkan ketahanan korosi
- g. Memperbaiki sifat kemagnetan

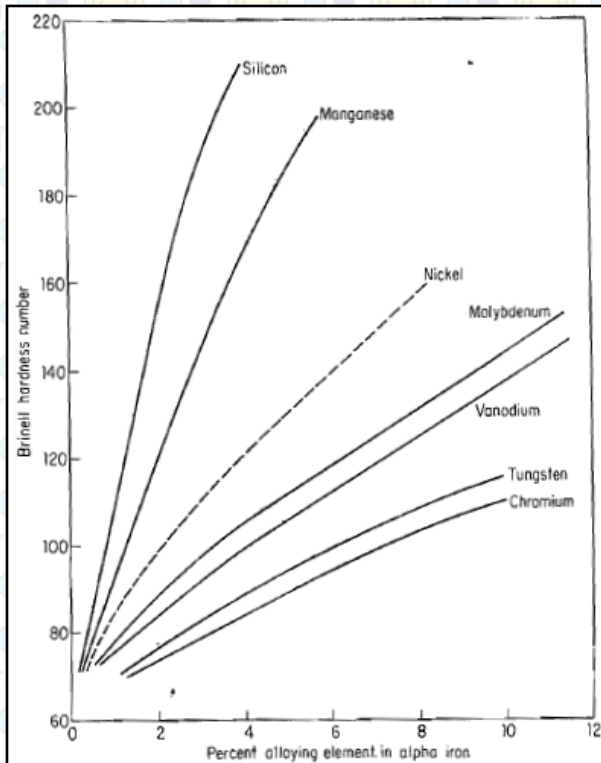
Pengaruh sejumlah unsur paduan terhadap ferit secara teknis hampir seluruh unsur terlarut didalamnya seperti dalam Gambar 2.3 dimana sejumlah unsur mempengaruhi kekerasan paduan setelah hardening, akan tetapi sejumlah elemen tidak terbentuk dalam fasa karbida yang terlarut. Diantaranya Nikel, Aluminium, Silikon, Tembaga, dan Kobalt, adalah yang saat ini diketahui paling banyak terlarut dalam ferit.

Fungsi paduan logam lainnya adalah pembentuk dan penstabil austenite. Unsur pada kelompok ini akan membuat austenit menjadi lebih stabil pada temperatur rendah. Austenit yang biasanya bertransformasi jika didinginkan akan menjadi stabil pada temperatur yang lebih rendah bahkan temperatur kamar. Unsur yang termasuk jenis ini adalah Mn dan Ni (Avner, 1974).

Unsur paduan dapat berfungsi sebagai pembentuk karbida. Jika pada ferrit dan austenit memiliki unsur yang dapat membentuk sekaligus menstabilkan, pada karbida berbeda. Unsur yang termasuk dalam jenis ini adalah Cr, W, Mo, V, Ti, Nb, Ta, Zr. Jika pada paduan baja ada beberapa unsur yang termasuk



dalam pembentuk karbida, tidak semuanya bisa membentuk karbida. Biasanya hanya unsur yang affinitas elektronnya tinggi yang terbentuk karbida (Avner, 1974).



Gambar 2.3. pengaruh sejumlah unsur yang terlarut dalam α ferit terhadap kekerasan (Avner, 1974).

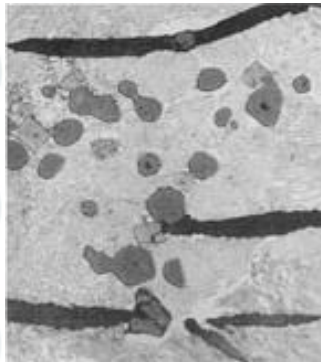
Fungsi unsur paduan juga sebagai penstabil karbida. Penstabil karbida merupakan unsur yang membuat karbida tidak larut dan terurai pada suatu fasa. Unsur yang termasuk dalam jenis ini adalah Co, Ni, W, Mo, Mn, Cr, V, Ti dan Nb. Disini dapat terlihat tidak semua pembentuk karbida kuat merupakan penstabil karbida yang kuat juga (Avner, 1974).



Fungsi lainnya adalah sebagai pembentuk nitride. Pada dasarnya unsur dalam jenis ini adalah mayoritas unsur pembentuk karbida. Unsur pembentuk nitrida akan membentuk nitrida jika baja dilakukan nitriding. Nitrida adalah senyawa yang keras sehingga adanya nitrida akan menambah kekerasan pada baja (Avner, 1974).

2.2. Pengaruh Unsur Mangan (Mn) pada Paduan Besi

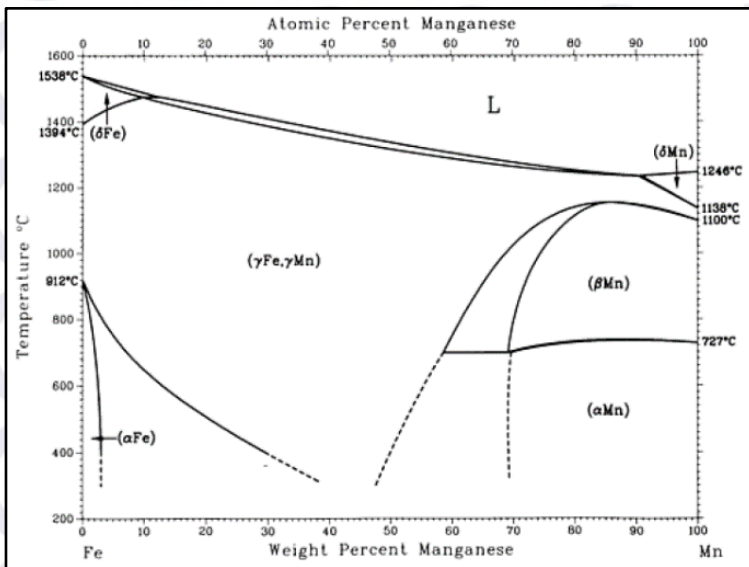
Salah satu fungsi penambahan Mangan (Mn) pada paduan besi adalah untuk menetralkan pengaruh dari kandungan sulfur di dalam paduan besi. Sulfur dalam paduan besi menyebabkan paduan menjadi getas karena akan membentuk besi sulfida. Umumnya kadar penambahan mangan di dalam paduan besi sekitar 5 kali dari kadar sulfur yang terkandung di dalam besi. Sehingga, jika kadar sulfur di dalam besi sekitar 0,1 persen maka jumlah mangan yang ditambahkan pada paduan seharusnya 0,5 persen. Jika penambahan mangan mencapai lebih dari 1 persen akan menyebabkan mangan menjadi penstabil karbida walaupun sangat lemah. Penambahan mangan sering dilakukan pada cupola kemudian dilakukan penuangan untuk menghasilkan pig iron atau silicomangan briket (Chastain, 2004).



Gambar 2.4. Mangan sulfida (abu-abu gelap, bulat) dan titanium nitrida (abu-abu terang, angular) dengan etsa 2% nital (ASM Handbook volume 15, 1998).



Mangan adalah salah satu unsur paduan yang paling murah dan terdapat dalam baja sebagai deoxidizer. Mangan juga berfungsi untuk menurunkan pengaruh terjadinya *hot shortness* yang ditimbulkan oleh unsur belerang di dalam besi. Ketika mangan sangat rendah kadarnya di dalam paduan besi, akan terbentuk sulfida besi FeS, yang membentuk eutektik dengan besi yang akan menyebabkan terjadinya *hot shortness*. Dengan penambahan mangan pada paduan besi menyebabkan mangan akan berkombinasi dengan sulfur membentuk sulfida mangan (MnS) seperti terlihat pada Gambar 2.4 dan meningkatkan titik leburnya. Sehingga terjadinya *hot shortness* pada paduan besi bisa dicegah, dan menyebabkan paduan besi bisa di *hot work* pada temperatur lebih tinggi.

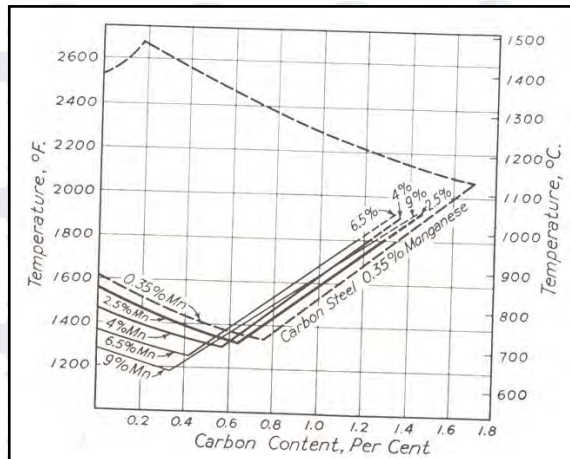


Gambar 2.5Diagram Fasa Fe-Mn (Kubaschewski, 1982).

Pada temperatur kamar, mangan murni tidak bereaksi dengan oksigen, nitrogen, atau hydrogen. Namun, pada temperatur tinggi mangan sangat bereaksi dengan oksigen, sulfur,



dan fosfor. Oleh karena itu, mangan digunakan pada industri pembuatan besi dan baja sebagai agen reduksi, desulfurisasi, dan defosforisasi. Mangan larut dengan cepat pada kondisi asam (Cardarelli, 2008). Gambar 2.5 menunjukkan diagram fasa Fe-Mn.



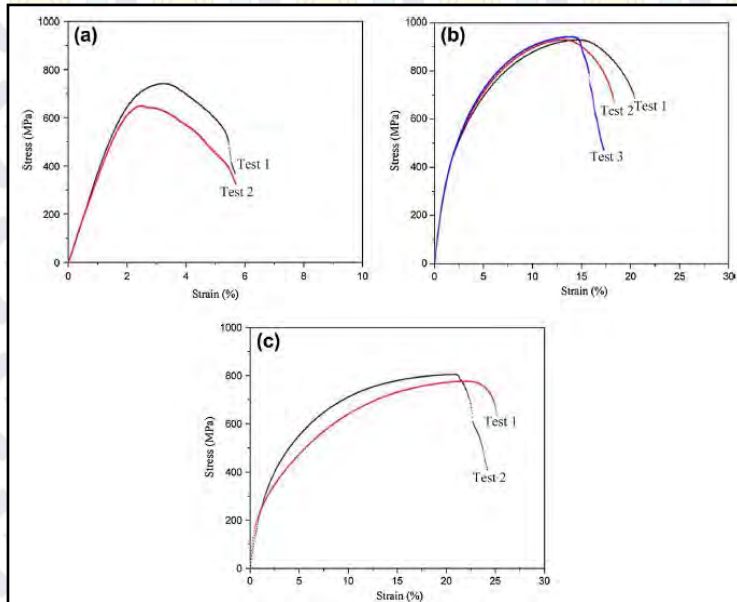
Gambar 2.6. Pengaruh unsur Mn terhadap temperatur austenit (Bain, 1966).

Mangan berkontribusi terhadap kenaikan kekuatan dan kekerasan, tetapi pengaruhnya masih lebih rendah dibandingkan dengan penambahan karbon, dan akan sangat efektif jika ditambahkan ke dalam paduan baja karbon tinggi. Elemen ini adalah pembentuk karbida yang lemah dan memiliki efek yang cukup besar dalam *hardenability* paduan. Seperti nikel, mangan memiliki pengaruh untuk menstabilkan austenit terlihat pada Gambar 2.6 (Avner, 1974).

Manganese steel memiliki kekuatan dan keuletan yang tinggi seperti terlihat pada hasil pengujian Gambar 2.7. Paduan besi ini banyak digunakan sebagai gear pada kendaraan. Dengan penambahan vanadium ke dalam paduan ini, manganese steel digunakan sebagai baja tempa dengan pendinginan udara. Setelah



di normalizing, paduan ini akan memiliki kekuatan luluh yang setara dengan baja karbon yang mengalami proses full hardening dan tempering.



Gambar 2.7. Kurva tegangan-regangan paduan Fe-Mn: (a) Fe-11Mn, (b) Fe-13Mn, (c) Fe-17Mn (Song, 2012)

Ketika kadar unsur mangan mencapai 10 persen pada paduan, paduan ini akan memiliki struktur austenit dengan pendinginan lambat. Baja spesial, yang sering dinamakan *Hadfield Manganese Steel*, umumnya mengandung 12 persen mangan. Setelah dilakukan *heat treatment*, baja ini akan memiliki sifat mekanik dengan kekuatan yang tinggi, keuletan yang tinggi, dan ketahanan aus yang sangat baik. Paduan ini banyak digunakan sebagai *power-shovel bucket and teeth*, *grinding* dan *crushing machinery*, dan rel kereta api. Dalam keadaan annealed mulai dari 1750°F, paduan ini memiliki kekuatan dan keuletan



yang rendah. Kekuatan tarik yang dimiliki sekitar 70.000 psi, dengan elongasi kurang dari 1 persen. Dengan paduan yang sama jika melakukan quench dari temperatur 1850°F, struktur yang terbentuk akan sepenuhnya austenit dengan kekuatan tarik 120.000 psi, dengan elongasi hingga 45 persen, dengan kekerasan mencapai sekitar 180 BHN. Paduan ini memiliki kekuatan dan keuletan yang lebih baik dibandingkan dengan kondisi annealed. Baja ini umumnya dilakukan pemanasan kembali dengan temperatur dibawah 500°F untuk mengurangi tegangan akibat quenching (Avner, 1974).

Paduan besi dengan mangan dengan kadar lebih dari 20 persen dinamakan *twinning-induced plasticity (TWIP) steel*. Paduan ini memiliki kekuatan tarik yang tinggi dengan elongasi yang tinggi juga. Pada temperatur ruang, paduan ini memiliki sifat non magnetik walaupun menggunakan pendinginan pada temperatur *liquid nitrogen* sifat magnitnya tidak berubah. Pada dunia industri, *high manganese steel* banyak digunakan untuk rel kereta api dan bahan struktural lainnya (koyama, 2012).

2.3 Aluminium

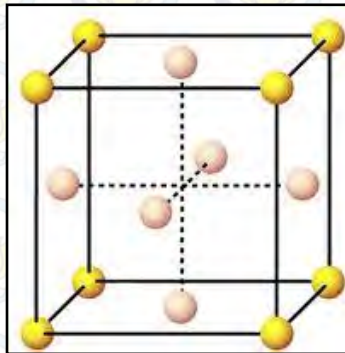
Aluminum ditemukan oleh Sir Humphrey Davy dalam tahun 1809 sebagai suatu unsur, dan pertama kali direduksi sebagai logam oleh H. C. Oersted tahun 1825. Secara industry tahun 1886, Paul Heroult di Perancis dan C. M. Hall di Amerika Serikat secara terpisah telah memperoleh logam aluminum dari alumina dengan cara elektrolisa dari garamnya yang terdifusi. Sampai sekarang proses Heroult Hall masih dipakai untuk memproduksi aluminum. Penggunaan aluminum sebagai logam setiap tahunnya adalah pada urutan kedua setelah besi dan baja, yang tertinggi di antara logam non ferro. Produksi Aluminum tahunan di dunia mencapai 15 juta ton per tahun pada tahun 1981 (Surdia, 1999).

Aluminum telah menjadi salah satu logam industri yang paling luas penggunaanya di dunia. Aluminum banyak digunakan di dalam semua sektor utama industri seperti angkutan,



konstruksi, listrik, peti kemas dan kemasan, alat rumah tangga serta peralatan mekanis.

Aluminum mempunyai struktur kristal *Face Centered Cubic* pada Gambar 2.8, dengan bilangan koordinasi 12 dan 4 atom di unit sel nya. Transformasi alotropik pada 870°K dan 350°K dikemukakan untuk menjelaskan diskontinuitas pada perubahan sifat, namun pada investigasi lebih lanjut pada logam yang lebih murni terbukti bahwa pada tekanan normal mulai temperatur 4°K hingga temperatur lebur tidak ada transformasi alotropik (Leighou, 1953).



Gambar 2.8. Struktur kristal FCC (Callister, 2010)

Pada ASM Handbook Volume 2 (1990) dijelaskan sifat-sifat Aluminum sebagai berikut:

1. Sifat Termal

Temperatur lebur : $660,4^{\circ}\text{C}$

Temperatur didih : 2494°C



Pemuaian Termal:

Tabel 2.3 Koefisien pemuaian termal aluminium (ASM Handbook Volume 2, 1990)

Rentang Temperatur, °C	Koefisien Rata-Rata, $\mu\text{m/m.k}$
-200 hingga 20	18,0
-150 hingga 20	19,9
-100 hingga 20	21,0
-50 hingga 20	21,8
20 hingga 100	23,6
20 hingga 200	24,5
20 hingga 300	25,5
20 hingga 400	26,4
20 hingga 500	27,4

Konduktivitas termal : 247 W/m.K pada 25°C
90 W/m.K pada 660,4°C

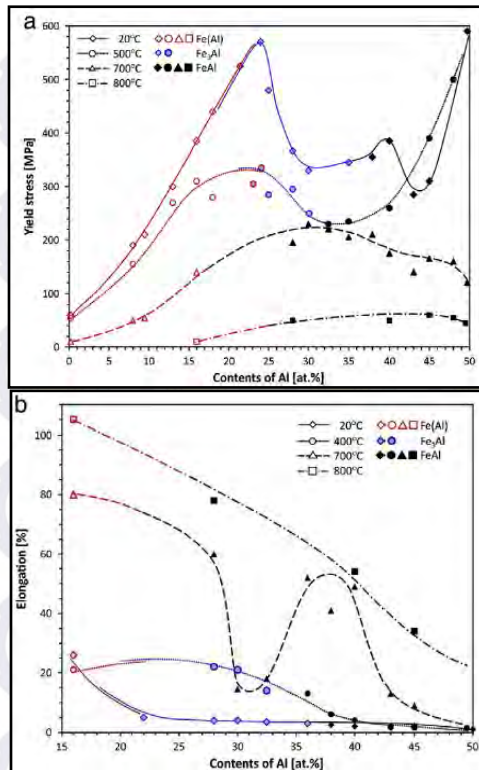
2. Sifat Mekanik

Tabel 2.4 Sifat mekanik aluminium (ASM Handbook Volume 2, 1990)

Kemurnian, %	Kekuatan Tarik Yield, $\pm 0,2\%$		Kekuatan Tarik		Pemanjangan dalam 50 mm, %
	Mpa	Ksi	MPa	ksi	
99,99	10	1,4	45	6,5	50
99,8	20	2,9	60	8,7	45

2.4 Paduan Besi-Aluminium (Fe-Al)

Paduan Fe-Al dengan kadar antara 16 hingga 50 persen umumnya dinamakan *iron aluminides*. Paduan intermetalik ini terdiri dari Fe_3Al atau FeAl dan memiliki sifat mekanik tergantung dari kadar aluminium dalam paduan. Paduan intermetalik ini sering digunakan pada struktur yang mengalami temperatur tinggi, kemampuan sulfidasi serta ketahanan oksidasi yang tinggi, ketahanan aus dan kekuatan yang tinggi berbanding dengan rasio beratnya (Lyszkowski, 2014).

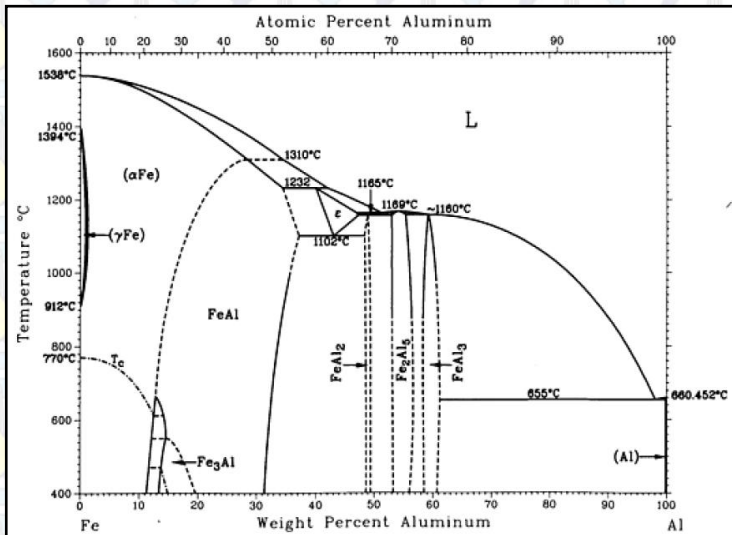


Gambar 2.9. Pengaruh kadar aluminium dalam paduan Fe-Al terhadap kekuatan luluh (a) dan elongasi (b) (Yang, 2015).

Paduan intermetalik Fe-Al merupakan paduan yang sering digunakan pada proses pengelasan, pengecoran, sintering, dan pelapisan. Sifat mekanik dari masing-masing proses tersebut sangat bergantung pada struktur mikro dari paduan intermetalik ini yang menyebabkan paduan ini menjadi keras dan getas. Dengan melakukan kontrol pada struktur mikro paduan intermetalik Fe-Al dalam proses pengecoran, keuletan dari paduan ini akan meningkat signifikan serta menurunkan



kekerasan dan kegetasan dari paduan intermetalik ini dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.10. Diagram fasa Fe-Al (ASM Handbook Volume 3, 1990)

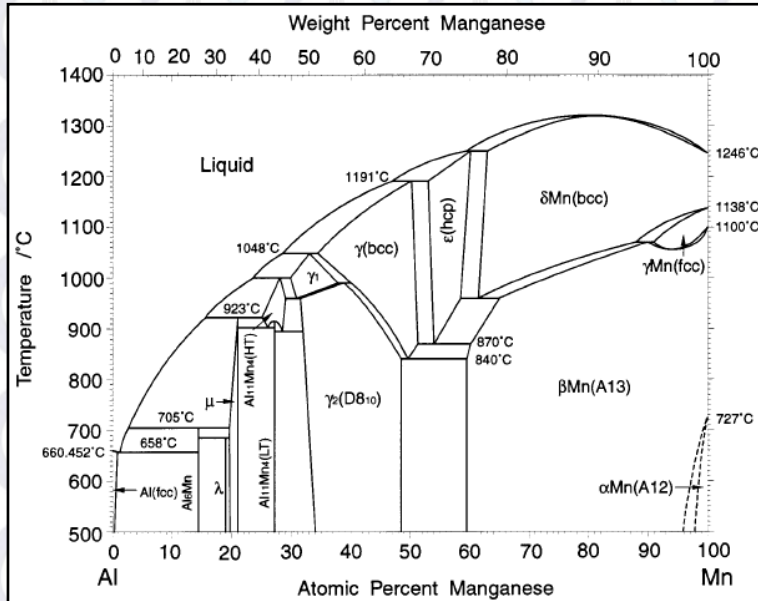
Fe dan Al memiliki lima paduan intermetalik dalam diagram binary paduan ini diantaranya FeAl_3 , Fe_2Al_5 , FeAl_2 , FeAl , dan Fe_3Al seperti terlihat dalam Gambar 2.10. Penggunaan paduan aluminium dan baja sendiri sudah sangat luas aplikasinya dalam dunia industri (Yang, 2015)

2.5 Paduan Aluminium-Mangan (Al-Mn)

Mangan adalah unsur yang memperkuat aluminium tanpa mengurangi ketahanan korosi dan dipakai untuk membuat paduan yang tahan korosi. Dalam diagram fasa Al-Mn Gambar 2.11, yang ada dalam keseimbangan dengan larutan padat Al adalah Al_6Mn (25,3%Mn), sistem ortorombik ($a=6,498 \text{ \AA}$, $b=7,552 \text{ \AA}$, $c=8,870 \text{ \AA}$) dan kedua fasa mempunyai titik eutektik pada $658,5^\circ\text{C}$, 1,95%Mn. Kelarutan padat maksimum pada temperatur



eutektik adalah 1,82%Mn dan pada 500°C 0,36%Mn. Sedangkan pada temperatur kamar kelarutannya hampir 0.



Gambar 2.11. Diagram fasa Al-Mn (Liu, 1998)

Sebenarnya paduan Al-1,2%Mn dan Al-1,2%Mn-1,0%Mg dinamakan paduan 3003 dan 3004 yang dipergunakan sebagai paduan tahan korosi tanpa perlakuan panas (Surdia, 1999).

2.6 Paduan Fe-Mn-Al

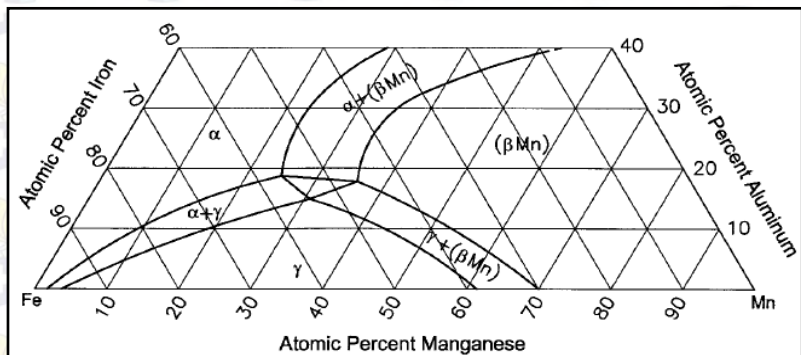
Paduan Fe-Mn-Al mulai digunakan pada beberapa produk komersial yang membutuhkan berat yang ringan, ulet, dan memiliki kekuatan yang tinggi. Meskipun ketahanan korosi dari paduan Fe-Mn-Al lebih tinggi dibandingkan dengan baja karbon, ketahanan korosi paduan ini masih kalah dibandingkan dengan baja tahan karat. Karena ketahanan terhadap karat yang masih lebih rendah dibanding baja tahan karat, penggunaannya pada



dunia industri masih terbatas (Su dkk, 2007). Fe-Mn-Al memiliki fasa yang terdiri dari ferit dan austenit, hal ini dikarenakan Mn adalah pembentuk dan penstabil austenit dan Al adalah pembentuk dan penstabil ferit. Semakin tinggi kadar Mn pada paduan maka semakin tinggi pula proporsi fasa austenit pada paduan. Jika paduan Fe-Mn-Al memiliki kadar Al yang rendah sedangkan kadar Mn tinggi fasa yang terbentuk adalah austenit pada temperatur ruang (Chiou dkk, 2004). Semakin tinggi kadar Al pada paduan Fe-Mn-Al hingga 10% Al menyebabkan fasa ferit pada paduan proporsinya meningkat. Pengaruh meningkatnya kadar Al pada paduan Fe-Mn-Al yaitu menurunkan densitas paduan, meningkatkan ketahanan korosi, dan kekuatan tarik yang dicapai hingga 780 Mpa dengan regangan hingga 30% (Seol dkk, 2012).

2.7 Ternary Diagram Fe-Mn-Al

Paduan Fe-Mn-Al memiliki diagram fasa ternery. Pada diagram fasa ternery ini, dapat dilihat fasa-fasa yang terbentuk pada paduan dengan berbagai komposisi yang di buat. Berikut merupakan diagram fasa ternary pada paduan Fe-Mn-Al tampak pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12.Diagram fasa ternary paduan Fe-Mn-Al
(Raghavan, 2005)



2.8 Penelitian Sebelumnya

Z.Q. Wu, dkk (2015) melakukan penelitian tentang pengaruh kadar 8% aluminium dan 10% aluminium terhadap *strain-hardening* pada paduan Fe-26Mn-1C. Sebelum melakukan aging treatment pada temperatur 550°C selama 40 jam, 0,5 jam, dan tanpa aging, spesimen dihomogenisasi selama 2 jam pada temperatur 1100°C, kemudian dilakukan *hot-rolled* dengan ketebalan 3 mm pada 1050°C, setelah itu dilakukan *solution treated* selama 1 jam pada 1100°C, di-*cold rolled* untuk mereduksi 50 persen ketebalan dan akhirnya di-*annealed* pada 1000°C selama 15 menit.

Pengaruh perlakuan terhadap regangan dan kekuatan tarik menunjukkan bahwa pada paduan tanpa perlakuan menunjukkan bahwa paduan Fe-26Mn-10Al-1C memiliki kekuatan tarik lebih tinggi dibanding dengan paduan Fe-26Mn-8Al-1C dimana paduan Fe-26Mn-10Al-1C memiliki kekuatan tarik sebesar 820 MPa sedangkan paduan Fe-26Mn-8Al-1C sebesar 765 MPa. Selain itu regangan paduan Fe-26Mn-10Al-1C dengan elongasi total 66% sehingga lebih besar dibandingkan dengan regangan paduan Fe-26Mn-8Al-1C yang memiliki elongasi total 72%. Pengaruh aging terhadap struktur mikro spesimen menunjukkan bahwa dengan meningkatnya kadar aluminium pada paduan menyebabkan terjadinya presipitasi karbida $(\text{Fe,Mn})_3\text{AlC}$ pada paduan menjadi lebih besar.

Fuqiang Yang, dkk (2014) meneliti tentang tensile deformation pada paduan Fe-27Mn-11,5Al-0,95C dengan perlakuan yang sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Wu (2015), menunjukkan bahwa paduan ini memiliki kekuatan yang tinggi serta sangat ulet dengan kekuatan tarik sebesar 925,9 MPa dan total elongasi sebesar 50,2 persen dengan struktur austenit dan sejumlah kecil fasa ferit.

Dalam penelitian dengan menggunakan mikroskop optik *sentative*, menunjukkan bahwa sejumlah fasa ferit dengan ukuran butir sekitar 10-30 μm terdistribusi ke dalam matrix austenit



dengan arah sejajar dengan arah *rolling*. Dengan menggunakan XRD, fraksi volume dari ferit sekitar 5,6%. (Yang, 2014)

2.9 Pengecoran

Proses pengecoran adalah salah satu proses yang sederhana dan proses langsung untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan. proses ini dibutuhkan cetakan yang diinginkan sesuai bentuk dan logam cair. pengecoran sudah dari lama digunakan oleh manusia. pengecoran yang biasa dilakukan adalah penuangan logam cair ke cetakan pasir. Tujuan dari proses pengecoran ini adalah memproduksi produk yang digunakan manusia. Pada zaman modern ini pengecoran sudah banyak digunakan untuk memproduksi bagian-bagian dari mesin. (Karl, 2011).

Dalam berbagai hal benda-benda kerja yang dibentuk melalui proses pengecoran memiliki keunggulan baik sifat maupun efisiensinya pembentukannya, bahkan tidak dimiliki oleh bahan yang dibentuk dengan cara lain, misalnya pada besi/baja tempa, dimana benda-benda tuangan (hasil pengecoran) sifat-sifatnya dapat ditentukan oleh formulasi campuran dan dapat diperbaiki menurut kebutuhan kita, bentuk dan dimensinya dapat dibentuk melalui pengecoran ini, misalnya ronggarongga, saluran-saluran dan lain-lain yang mungkin tidak dapat dilakukan dengan cara lain, dengan demikian benda tuangan berkembang sejalan dengan modernisasi teknologi itu sendiri hal ini dikarenakan benda tuangan memiliki keunggulan dan dapat diterima diberbagai jenis produk, seperti permesinan, automotif, listrik dan elektronik, konstruksi/ bangunan gedung, assesoris dan lain-lain. Namun demikian jika kita lihat industri manufaktur yang bergerak dibidang pengecoran ini jumlahnya masih kecil dengan kualitas produknya pun masih rendah walaupun ada produk dengan kualitas tinggi tetapi masih dengan teknologi luar negeri. Hal ini menjadi tantangan bagi kita semua agar dapat berkompetisi dengan bangsa lain terutama dalam era globalisasi seperti sekarang ini (Sudjana, 2008).



2.9.1 Pola

Pola perlu dalam pembuatan coran. Pola yang dipergunakan untuk pembuatan cetakan pada benda coran, dapat digolongkan menjadi pola logam dan pola kayu (termasuk pola plastik). Pola logam dipergunakan agar dapat menjaga ketelitian ukuran benda coran, terutama dalam masa produksi, sehingga unsur pola bisa lebih lama dan produktivitasnya lebih tinggi.

Bahan dari pola logam bisa bermacam-macam sesuai dengan penggunaannya. Sebagai contoh, logam tahan panas seperti: besi cor, baja cor, dan paduan tembaga adalah cocok untuk pola pada pembuatan cetakan kulit, sedangkan paduan ringan, adalah mudah diolah dan dipilih untuk pola yang dipergunakan dalam masa produksi dimana pembuatan cetakan dilakukan dengan tangan.

Pola kayu dibuat dari kayu, murah, cepat dibuatnya dan mudah diolahnya dibandingkan dengan pola logam. Oleh karena itu pola kayu umumnya dipakai untuk cetakan pasir (Surdia, 2000).

2.9.2 Cetakan

Cetakan digunakan untuk membentuk model hasil coran sesuai yang diinginkan. bentuk cetakan biasanya menyesuaikan dengan tujuan pengecoran yang dilakukan. bahan yang digunakan untuk cetakan disebut "Moulding Material". Rongga cetakan harus bisa mempertahankan bentuknya agar logam cair yang masuk tidak berubah bentuk pada saat dituang. Cetakan dapat dibagi dua, cetakan permanen dan cetakan sementara. contoh cetakan permanen biasa terbuat dari Logam *Ferrous*, dan besi cor. cetakan yang bersifat sementara biasanya terbuat dari pasir refraktori, plaster, resin, lilin.

Sebagian cetakan menggunakan pasir refraktori karena lebih murah dibanding cetakan permanen yang lebih mahal. (banga, 1981).

Sifat Pasir cetakan yang dibutuhkan adalah:

1. Permeabilitas



Logam cair selalu mengandung sejumlah gas yang larut, yang berubah saat logam memadat. Selain itu saat logam cair bersentuhan dengan cetakan akan tercipta uap air. Jika gas dan uap air tersebut tidak dapat keluar dari cetakan maka akan terbentuk lubang gas dan pori pada coran.

Karena itu pasirnya harus cukup berpori agar dapat dilewati oleh gas dan uap air saat logam cair dituang. Pasir yang kasar atau mempunyai butir yang bulat mempunyai permeabilitas yang lebih baik. *Ramming* dan penambahan tanah liat akan menaikkan permeabilitas. Permeabilitas yang tidak memadai akan menyebabkan cacat seperti *surface blows*, *gasholes*, *mould blasting*, dan lain-lain.

2. Plastisitas atau Mampu Alir

Sifat ini mengarah pada kemampuan pasir cetak untuk mendapat bentuk yang ditentukan dibawah tekanan dan mempertahankannya saat tekanan dihilangkan. Untuk mendapat hasil yang baik dari pola yang ada didalam cetakan, plastisitas yang tinggi diperlukan dari pasir cetak.

3. Adhesivitas

Partikel dari pasir cetak harus mampu melekat ke bagian lain. Berarti tepi dari pasir cetak harus dapat saling melekat.

4. Kohesivitas

Kemampuan dari partikel pasir untuk saling melekat disebut “kohesivitas” atau “kekuatan”. Jika tidak mempunyai kemampuan yang cukup, maka akan menyebabkan runtuhnya pasir saat pengangkatan, pembalikan, penutupan, atau penuangan, hal ini dapat hancur atau rusak sebagian.

5. Sifat Refraktori

Kemampuan pasir cetak untuk tahan terhadap temperatur tinggi dari logam cair tanpa terjadi fusi disebut “sifat refraktori”. Pasir cetak yang mempunyai sifat refraktori yang rendah akan terbakar saat pengecoran. Bagaimanapun, pasir silika mempunyai pemuai termal yang tinggi pada 575°C. Jika dibandingkan dengan pengecoran paduan yang mempunyai temperatur lebur yang rendah, sifat refraktori ini



lebih esensial untuk pengecoran paduan yang mempunyai temperatur lebur yang tinggi seperti baja.

6. Ketahanan Kimiawi
Pasir cetak tidak boleh bereaksi secara kimiawi dengan logam karena jika pasir bereaksi maka bentuk dari coran akan menyimpang dan rusak.
7. Mampu Hancur
Sifat pasir cetak inilah yang menentukan apakah pasir cetak dapat runtuh secara otomatis saat pemadatan coran dan hancur saat pemukulan dan pembersihan.
8. Kehalusan
Pasir cetak yang lebih halus mencegah terjadinya penetrasi logam, dan memberikan permukaan yang halus pula pada coran. Kehalusan pasir dan permeabilitas pasir saling bertolak belakang. Sehingga keduanya harus seimbang untuk mencapai hasil yang optimal. Kedua sifat ini dapat dijaga dengan menggunakan pelapisan cetakan pada permukaan cetakan yang mempunyai permeabilitas yang tinggi.
9. Koefisien Pemuai yang Rendah.
Pasir cetak harus mempunyai koefisien pemuai yang rendah.
10. *Bench Life*
Adalah kemampuan pasir cetak untuk mempertahankan sifatnya selama penyimpanan, penanganan, penggunaan, contohnya pada saat delay.

2.9.3 Cetakan Pasir

Pasir cetak memerlukan sifat-sifat yang memenuhi persyaratan sebagai berikut (Surdia, 2000):

1. Mempunyai sifat mampu bentuk sehingga mudah dalam pembuatan cetakan dengan kekuatan yang cocok. Cetakan yang dihasilkan harus kuat sehingga tidak rusak karena dipindah-pindah dan dapat menahan logam cair waktu dituang kedalamnya. Oleh karena itu kekuatannya pada temperatur kamar dan kekuatan panasnya sangat diperlukan.



2. Permeabilitas yang cocok. Dikuatirkan bahwa hasil coran mempunyai cacat seperti rongga penyusutan, gelembung gas atau kekasaran permukaan, kecuali jika udara atau gas yang terjadi dalam cetakan waktu penuangan disalurkan melalui rongga-rongga diantara butir-butir pasir keluar dari cetakan dengan kecepatan yang cocok.
3. Distribusi besar butir yang cocok. permukaan coran diperhalus kalau coran dibuat dalam cetakan yang berbutir halus. Tetapi kalau butir pasir terlalu halus, gas dicegah keluar dan membuat cacat, yaitu gelembung udara. Distribusi besar butir harus cocok mengingat dua syarat yang disebut diatas.
4. Tahan terhadap temperatur logam yang dituang. Temperatur penuangan yang biasa untuk bermacam-macam coran dinyatakan dalam Tabel 2.4. Butir pasir dan pengikat harus mempunyai derajat tahan api tertentu terhadap temperatur tinggi, kalau logam cair dengan temperatur tinggi ini dituang kedalam cetakan.

Tabel 2.4 Temperatur penuangan untuk berbagai coran (Surdia, 2000)

Macam Coran	Temperatur Penuangan (°C)
Paduan Ringan	650 – 750
Brons	1.100 – 1.250
Kuningan	950 – 1.100
Besi Cor	1.250 – 1.450
Baja Cor	1.500 – 1.550

5. komposisi yang cocok. Butir pasir bersentuhan dengan logam yang dituang mengalami peristiwa kimia dan fisika karena logam cair mempunyai temperatur yang tinggi. Bahan-bahan yang tercampur yang mungkin menghasilkan gas atau larut dalam logam adalah tidak dikehendaki.
6. Mampu pakai lagi. Pasir harus dapat dipakai berulang-ulang supaya ekonomis.
7. Pasir harus murah.



2.9.4 Toleransi Penyusutan

Semua logam yang digunakan dalam pengecoran ukurannya akan mengecil dan menyusut setelah pemadatan dan pendinginan di dalam cetakan. Untuk mengimbangi hal ini maka pola dari cetakan harus dibuat lebih besar dari ukuran coran yang sebenarnya, sesuai dengan jumlah yang disebut dengan “pengecilan pembuatan pola”. Pembuatan pola dilengkapi dengan aturan khusus dan skala yang disebut dengan “prinsip pengecilan pembuatan pola”. Dalam menyusun pengukuran dari pola, pembuat pola memperkenankan pengecilan ini dengan menggunakan aturan ini yang sedikit lebih panjang dari aturan yang sama dalam panjang yang sama. Untuk pengecoran logam yang berbeda maka mungkin akan berbeda juga prinsip pengecilannya namun pada umumnya prinsip tersebut digunakan pada setiap sisi, dimana ada 2 skala, jumlah total skalanya adalah 4 untuk 4 logam coran umum, seperti baja, besi cor, kuningan, dan Aluminum. Pembagian pada setiap skala ini ukurannya dilebihkan dengan jumlah yang proporsional, contohnya saap membuat pola untuk besi cor, pembuat pola menggunakan pengukuran prinsip pengecilan sekitar 10 mm tiap 1 meter lebih panjang dari ukuran konvensional karena besi cor menyusut 10 mm tiap 1 meter. Pola asal yang digunakan untuk membuat pola logam memerlukan penghitungan toleransi penyusutan yang ganda (Banga, 1981).

Tabel 2.5 Toleransi Penyusutan untuk Logam Cor yang Penting
(Banga, 1981)

No	Logam	Pengecilan (persen)	Pengecilan (mm per meter)
1	Besi Cor Kelabu	0,7 hingga 1,05	7 hingga 10,5
2	Besi Cor Putih	2,1	21
3	Besi Cor	1,5	15



	Mampu Tempa		
4	Baja	2,0	20
5	Kuningan	1,4	14
6	Aluminum	1,8	18
7	Paduan Aluminum	1,3 hingga 1,6	13 hingga 16
8	Tembaga	1,05 hingga 2,1	10,5 hingga 21
9	Magnesium	1,8	18
10	Seng	2,5	24
11	Baja Mangan	2,6	26,5

Jumlah penyusutan yang dicantumkan diatas dan prinsip pengecilan ini hanyalah gambaran rata-rata. Pengecilan yang sebenarnya pada pengecoran tergantung dari faktor-faktor berikut:

1. Ketebalan dan dimensi pengukuran lain dari coran.
2. Desain dan seluk-beluk dari coran.
3. Ketahanan cetakan untuk menyusut.
4. Bahan cetakan yang dipakai dan kekerasannya.
5. Metode pencetakan yang digunakan
6. Temperatur penuangan logam cair.

2.9.5 Pemeriksaan Coran

Pemeriksaan hasil coran adalah dimana hasil coran yang dilakukan akan diperiksa dan diuji.

Pemeriksaan coran mempunyai tujuan sebagai berikut:

1. Memelihara kualitas
Kualitas dan baiknya produk coran harus dijamin dengan jalan memisahkan dengan produk gagal
2. Penekanan biaya dengan mengetahui lebih dulu produk yang cacat
Dalam pemeriksaan penerimaan bahan baku dan bahan yang diproses sejak dari pembuatan cetakan sampai selesai
3. Penyempurnaan teknik.



Menurut data kualitas yang didapat dari awal pemeriksaan dan percobaan, menyisihkan produk yang cacat dapat dilakukan lebih awal dan selanjutnya tingkat kualitas dapat dijaga.

Pemeriksaan produk coran dapat digolongkan menjadi:

1. Pemeriksaan rupa
Dalam pemeriksaan ini yang dilihat adalah: ketidak teraturan, inklusi retakan dan sebagainya.
2. Pemeriksaan Cacat (pemeriksaan tak merusak)
Dalam pemeriksaan ini diteliti adanya cacat atau tidak dalam hasil coran seperti: rongga udara, rongga penyusutan, retakan dan sebagainya.
3. Pemeriksaan bahan
Dalam pemeriksaan ini ketidakaturan bahan diteliti. demikian juga halnya dengan komponen, struktur mikro dan sifat mekanik diperiksa.
4. pemeriksaan dengan merusak.
pemeriksaan dengan merusak dilakukan dengan cara merusak hasil coran tersebut untuk dapat melihat hasil dan kualitas dari hasil coran tersebut dan dapat membedakan dengan produk cacat dengan yang baik.

Pemeriksaan kualitas dilakukan sesuai dengan ketentuan yang dibuat sebelumnya mengenai ukuran dan jumlah contoh, sedangkan pemeriksaan kecacatan produk dilakukan setiap kali apabila diperlukan.

sebagai hasil dari pemeriksaan produk mengenai macam-macam cacat, bentuk, tempat yang diteliti, keadaan produk dan lain-lainnya harus dicatat secara tepat, selanjutnya bagi produk yang lulus pemeriksaan, tingkat kualitasnya harus dicatat dengan alur yang sama agar dapat membedakan hasil yang cacat dan yang lolos pemeriksaan (Surdia, 2000.)



2.9.6 *Finishing* dan *defect* dalam Proses Pengecoran

Proses finishing dalam pengecoran merupakan proses yang terjadi setelah penuangan dan proses pendinginan. Ada beberapa proses finishing, yaitu ;

1. Casting knock out
Pelepasan cetakan keramik dengan menggunakan mesin knocking atau biasa disebut dengan knocker.
 2. Cut Off casting
Pemisahan produk dari *gating system*-nya. Proses ini menggunakan mesin potong yang digunakan adalah tipe roda pemotong dengan posisi tetap
 3. Pembersihan
Ada 3 (tiga) metode yang umum digunakan. Pertama pembersihan secara *abrasive*, metode pembersihan abrasif dengan mesin Hook Shot Blasting. Pada proses pembersihan dengan Hook Shot Blasting, produk ditembak dengan menggunakan bola baja berukuran kecil. Kedua dengan cara kimiawi atau pickling, pada proses ini benda coran dimasukkan ke dalam larutan kimia dengan komposisi 75% air, 8% HF, 17% HNO₃. Untuk yang ketiga yaitu pembersihan dengan cara penyemprotan air.
 4. Grinding
Proses grinding ini bertujuan untuk meratakan permukaan hasil coran.
 5. Pressing
Proses ini untuk mempresisikan produk hasil coran
- Adapun untuk *defect* atau cacat yang biasa terjadi dalam proses pengecoran yaitu;
1. Shrinkage
Penyusutan akibat adanya perbedaan temperatur pada proses penuangan.
 2. Coldshut



Rongga dengan ujung bulat terjadi karena proses pertemuan dua aliran konvergen yang tidak sempat menyatu akibat proses pembekuannya cepat. Proses pencegahan dari cacat ini yaitu memperbaiki *gating system*.

3. Inklusi keramik

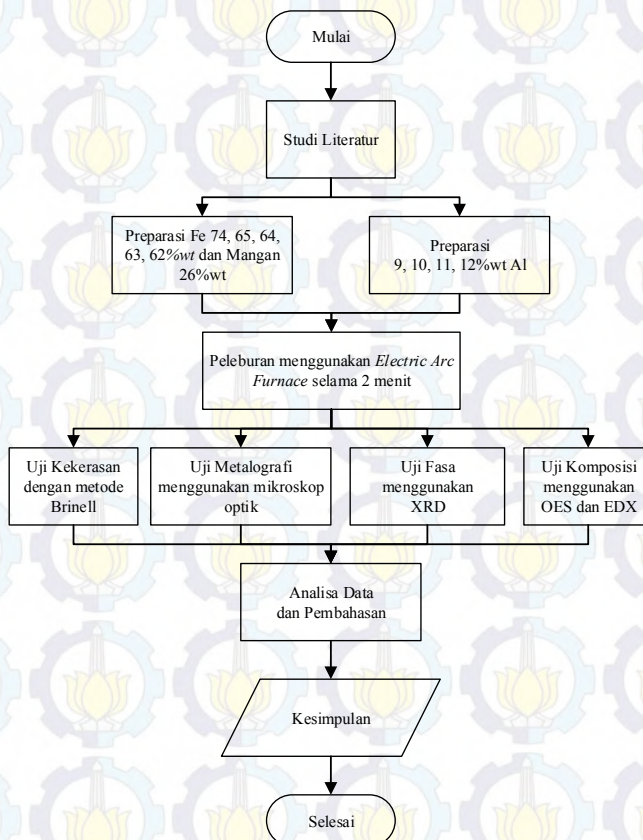
Rongga akibat adanya keramik yang rontok. Cacat ini disebabkan karena lapisan keramik tergerus pada saat proses penuangan



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap, tahapan dalam penelitian ini digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir



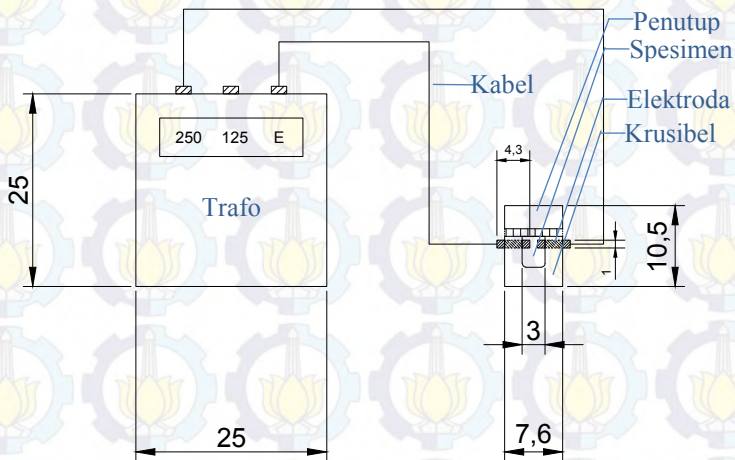
3.2. Peralatan dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. *Electric Arc Furnace*

Digunakan untuk melebur paduan Fe-Mn-Al, ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Dimensi Tampak Depan Electric Arc Furnace

2. *Crusible*

Krus terbuat dari batu tahan api yang digunakan sebagai wadah baja AISI 1006, Mangan, dan Aluminium dalam proses peleburan.

3. Gergaji

Digunakan untuk memotong bahan.

4. Gelas Ukur 250 ml

Alat ini digunakan untuk mengukur bahan saat pembuatan larutan etsa.



5. *Beaker Glass*

Digunakan untuk wadah mencampur bahan etsa.

6. *Timbangan Digital*

Digunakan untuk menimbang massa bahan.



Gambar 3.3 Timbangan Digital

7. *Kertas Amplas*

Digunakan untuk grinding specimen pada uji metalografi

8. *Gergaji Mesin*

Digunakan untuk memotong bahan lebur ataupun hasil coran.



Gambar 3.4 Gergaji Mesin

9. *Termometer Infrared*

Termometer infrared digunakan untuk mengukur temperature saat pemaduan dalam furnace.



10. Alat Uji Kekerasan Universal
Alat ini digunakan untuk mengukur kekerasan spesimen
11. Mesin uji komposisi OES
Alat ini digunakan untuk mengetahui komposisi kimia benda hasil coran
12. Mesin uji fasa XRD
Digunakan untuk mengetahui senyawa dan fasa.
13. Mesin EDX
Digunakan untuk mengetahui komposisi kimia pada batas butir struktur mikro spesimen.
14. Mesin Polishing
Alat ini digunakan dalam proses grinding serta polishing specimen dalam uji metalografi.
15. Mikroskop Metalurgi
Alat ini digunakan untuk mengetahui strukturmikro specimen.

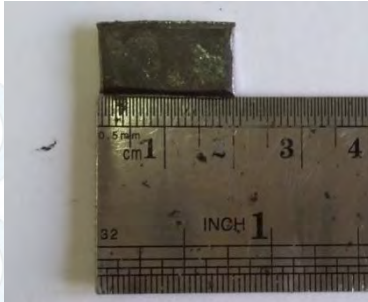


Gambar 3.5. Mikroskop Optik Olympus BX51M-RF

3.2.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Baja AISI 1006
Baja ini diperoleh dalam bentuk plat setebal 3 mm dengan komposisi standar ASTM A830.



Gambar 3.6. Baja AISI 1006

2. Mangan (Mn)

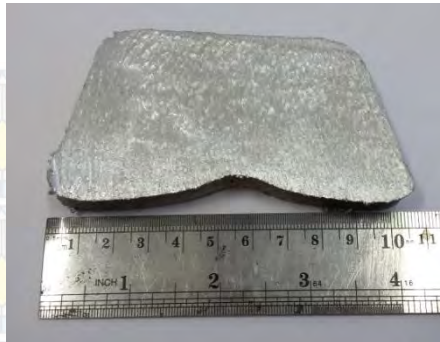
Mangan yang diperoleh dalam bentuk ferromangan medium carbon dengan standar ASTM A99. Ferromangan ini didapatkan dari PT. Makmur Meta Graha Dinamika dengan kadar mangan 76,25%.



Gambar 3.7. Ferromangan medium karbon

3. Aluminium (Al)

Aluminium ingot dengan kadar paduan 97,7%wt Al, bahan ini diperoleh dari PT Bumi Melati Surabaya.



Gambar 3.8. Aluminium Ingot

4. Bahan etsa ASTM E407

Larutan etsa yang digunakan mengacu pada standar ASTM E407 nomor 87 dengan campuran larutan sebagai berikut:

- a. 30 ml HCl
- b. 30 ml Glycerol
- c. 10 ml HNO_3

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Preparasi Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Baja AISI 1006 dan 26% Mangan (Mn) yang kemudian ditambahkan unsur paduan Aluminum (Al) dengan kadar 0; 9; 10; 11; 12 wt% Al. Kemudian, ketiga bahan disiapkan sebelum digunakan. Setelah itu, menimbang Baja AISI 1006, Mangan (Mn), dan Aluminum (Al) dengan menggunakan neraca digital dan menggunakan Persamaan 3.1. Variasi kadar pemaadu adalah 0; 9; 10; 11; 12 wt% Aluminium, dan memasukkan ke *Crusible*.

$$\frac{\% \text{ Target Unsur}}{\% \text{ Rasio kadar unsur pada bahan}} \times \text{Massa total}$$

Setelah bahan berada dalam *crusible*, memasukkan *Crusible* ke dalam *furnace* dan memanaskan hingga temperatur 1600 °C

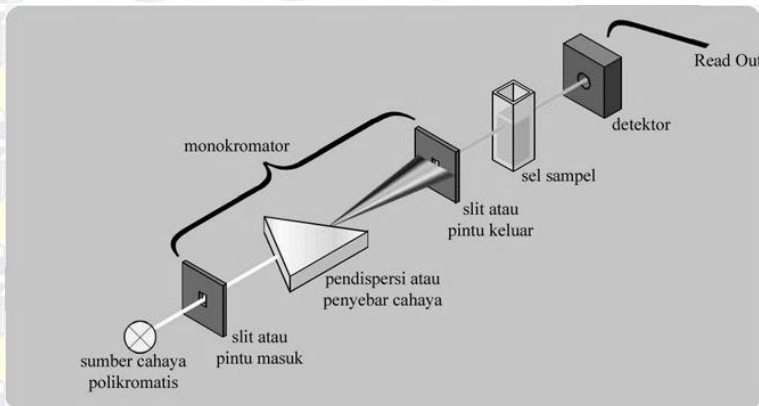


hingga spesimen melebur. Setelah bahan melebur, membuka *furnace* dan mengaduk paduan cair dengan menggunakan pengaduk selama beberapa saat. Mendinginkan paduan yang masih cair di dalam *furnace* dalam keadaan pintu terbuka hingga mencapai temperatur kamar. Mengeluarkan paduan yang telah padat dari dalam *furnace*. Mengeluarkan hasil coran dari krus. Menguji OES, XRD, EDX, Kekerasan, dan Struktur mikro pada spesimen.

3.3.2 Pengujian Spesimen

3.3.2.1 Pengujian Komposisi OES (*Optical Emission Spectroscopy*)

Pengujian *Optical Emission Spectroscopy* atau OES adalah pengujian dengan menembakkan electron pada bidang datar spesimen sehingga memantulkan gelombang cahaya yang dapat ditangkap oleh *receiver* dan sensor yang kemudian dicocokkan dengan database yang ada. OES dapat mengetahui berbagai unsur tergantung dari database yang tersedia. Pengujian OES pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium DT NDT Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Pengujian dilakukan dengan tiga kali tembakan.

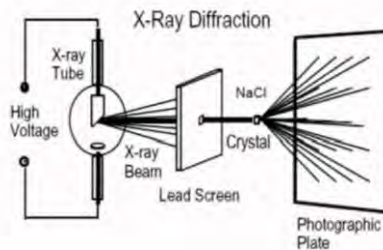


Gambar 3.9. Prinsip kerja OES



3.3.2.2 Pengujian XRD (X-Ray Diffraction)

Difraksi sinar X merupakan instrumen yang digunakan untuk mengidentifikasi material kristalit maupun non-kristalit, sebagai contoh identifikasi struktur kristalit (kualitatif) dan fasa (kuantitatif) dalam suatu bahan dengan memanfaatkan radiasi sinar X seperti pada Gambar 3.10. Dengan kata lain, teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel.



Gambar 3.10. Prinsip kerja XRD

Sinar-X dihasilkan di suatu tabung sinar katode dengan pemanasan kawat pijar untuk menghasilkan elektron-elektron, kemudian electron-elektron tersebut dipercepat terhadap suatu target dengan memberikan suatu voltase, dan menembak target dengan elektron. Ketika elektron-elektron mempunyai energi yang cukup untuk mengeluarkan elektron-elektron dalam target, karakteristik spektrum sinar-X dihasilkan. Spektrum ini terdiri atas beberapa komponen-komponen, yang paling umum adalah $K\alpha$ dan $K\beta$. $K\alpha$ berisi, pada sebagian, dari $K\alpha_1$ dan $K\alpha_2$. $K\alpha_1$ mempunyai panjang gelombang sedikit lebih pendek dan dua kali lebih intensitas dari $K\alpha_2$. Panjang gelombang yang spesifik merupakan karakteristik dari bahan target (Cu, Fe, Mo, Cr). Disaring, oleh kertas perak atau kristal monochrometers, yang

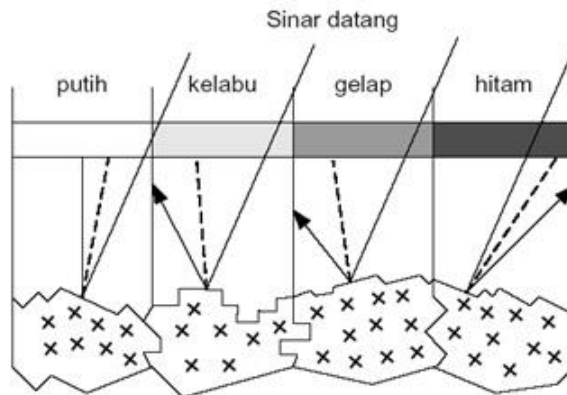


akan menghasilkan sinar-X monokromatik yang diperlukan untuk difraksi.

3.3.2.3 Pengujian Metalografi

Pengamatan Metalografi didasarkan pada perbedaan intensitas sinar pantul permukaan logam yang masuk kedalam mikroskop sehingga terjadi gambar yang berbeda (gelap, agak terang, terang) seperti pada Gambar 3.11. Apabila terhadap permukaan logam yang telah dihaluskan (polish) kemudian di etsa dengan larutan kimia, maka permukaan logam tersebut akan dilarutkan.

Struktur mikro yang berbeda akan dilarutkan dengan kecepatan yang berbeda sehingga meninggalkan bekas permukaan dengan orientasi sudut yang berbeda pula. Dengan demikian apabila seberkas sinar dikenakan pada permukaan logam yang telah di test maka sinar tersebut akan dipantulkan sesuai dengan orientasi sudut permukaan bidang yang terkena.



Gambar 3.11. Alur pantul sinar pada metalografi

3.3.2.4 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan yang dilakukan yakni pengujian kekerasan dengan metode Brinell. Pengujian kekerasan Brinell



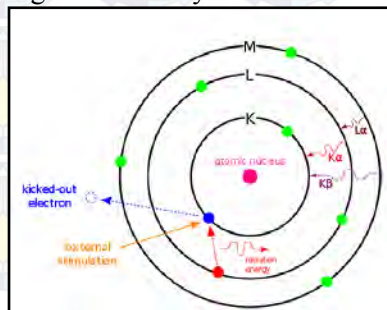
mempunyai cakupan yang luas sehingga dapat digunakan untuk material yang sangat lunak maupun material yang sangat keras. Pengujian kekerasan brinell dilakukan sesuai dengan standar ASTM E10. Diameter indenter yang digunakan sebesar 2,5 mm. Dengan pembebanan sebesar 62,5 kgf. Dari pengujian yang dilakukan didapatkan diameter indentasi yang kemudian dimasukkan ke dalam Persamaan 3.2.

$$BHN = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (3.2)$$

Dengan P adalah pembebanan dalam satuan kgf, π adalah tetapan yakni sebesar 3,14 atau $\frac{22}{7}$, D adalah diameter indenter dalam satuan mm, dan d adalah diameter indentasi dalam satuan mm.

3.3.2.5 Pengujian EDX (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*)

Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS atau EDX atau EDAX) adalah salah satu teknik analisis untuk menganalisis unsur atau karakteristik kimia dari spesimen. Karakterisasi ini bergantung pada penelitian dari interaksi beberapa eksitasi sinar X dengan spesimen. Kemampuan untuk mengkarakterisasi sejalan dengan sebagian besar prinsip dasar yang menyatakan bahwa setiap elemen memiliki struktur atom yang unik, dan merupakan ciri khas dari struktur atom suatu unsur, sehingga memungkinkan sinar-X untuk mengidentifikasinya.



Gambar 3.12. Skema EDX



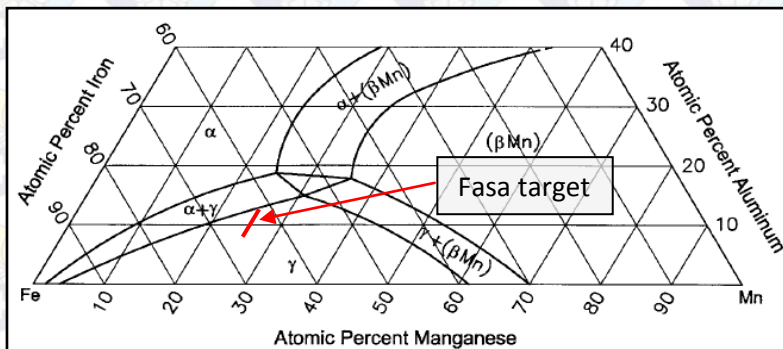
3.4 Rancangan Penelitian

Untuk memperoleh data yang sistematis, maka dari penelitian ini akan dibuat rancangan seperti pada Tabel 3.1.

Table 3.1 Rancangan penelitian

Material			Pengujian				
Fe (wt%)	Mn (wt%)	Al (%wt)	Uji OES	Uji XRD	Uji Kekerasan	Uji Metalografi	Uji EDX
Balance	26	0	V	V	V	V	V
		9	V	V	V	V	
		10	V	V	V	V	
		11	V	V	V	V	
		12	V	V	V	V	

Berdasarkan diagram fasa, target fasa yang akan terbentuk terlihat pada diagram fasa ternery Fe-Mn-Al Gambar 3.13 membentuk fasa austenit.



Gambar 3.13. Fasa target dengan komposisi penambahan 9-12%wt Al dalam diagram fasa ternery Fe-Mn-Al.



(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Coran Fe-Mn-Al

Pengamatan makro pada hasil cor dilakukan untuk dapat mengamati kehomogenan pada pencampuran paduan pada proses pengecoran. Foto makro dilakukan dengan memotong hasil coran secara melintang menjadi tiga bagian, sehingga dapat di lihat hasil potongan bagian tengah pada hasil coran.



Gambar 4.1 Hasil coran Fe₂₆Mn dengan penambahan (a) 0, (b) 9, (c) 10, (d) 11 dan (e) 12 %wt Al



Pada pengamatan permukaan hasil cor dapat diamati bahwa telah terjadi pencampuran unsur paduan yang homogen. Namun pada permukaan luar hasil coran (b), (c), (d), dan (e) Gambar 4.1 tampak bergerigi yang disebabkan oleh leburan dinding furnace. Dilihat dari hasil pengujian komposisi terlihat pengaruh leburan dinding furnace tidak mempengaruhi komposisi akhir paduan.

4.2 Komposisi Kimia Paduan Coran Fe-Mn-Al

Pengujian komposisi kimia hasil coran dilakukan dengan menggunakan *Optical Electron Spectrometry* (OES). Pada hasil uji OES yang dilakukan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) pada keseluruhan sampel, didapatkan perbandingan data antara komposisi awal dengan komposisi setelah peleburan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Komposisi Fe-Mn-Al melalui pengujian OES

Komposisi	% Fe		% Mn		% Al		% C
	awal	akhir	awal	Akhir	awal	Akhir	
Fe26Mn0Al	74	76.2	26	>18.50	0	<0.0005	0.66
Fe26Mn9Al	65	75.8	26	>18.50	9	>0.120	1.71
Fe26Mn10Al	64	75.5	26	>20.0	10	>0.50	1.16
Fe26Mn11Al	63	74.6	26	>20.0	11	>1.50	1.08
Fe26Mn12Al	62	68.4	26	>21.0	12	>2.50	2.47

Pada hasil uji OES paduan Fe-Mn-Al terdapat penurunan komposisi Mn dan Al yang sangat besar dikarenakan temperatur lebur Mn yang berupa ferromangan dan Al yang berada dibawah temperatur lebur Fe sehingga sebagian dari logam tersebut menguap saat proses peleburan. Dari semua sampel hasil paduan di dapatkan kenaikan komposisi karbon (%wt C) yang sangat



tinggi. Hal ini disebabkan oleh beberapa hal seperti pada proses peleburan dan juga kontribusi karbon dari raw materialnya. Pada proses peleburan menggunakan *electric arc furnace*, elektroda yang digunakan merupakan elektroda karbon. Hal ini akan menyebabkan terjadinya kelarutan karbon yang sangat tinggi ketika raw material yang di gunakan mulai melebur. Sedangkan raw material yang berkontribusi meningkatkan kadar karbon karena memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi yaitu *ferro mangan medium carbon*.

4.3 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan coran paduan Fe-Mn-Al dilakukan dengan menggunakan metode uji kekerasan brinell dengan standar ASTM E10. Menggunakan bola baja dengan diameter 2,5 mm dan beban 187,5 kgf.

Tabel 4.2 menunjukkan nilai kekerasan terhadap penambahan Al pada paduan Fe-Mn. Pengujian dilakukan pada 3 indentasi untuk setiap 1 spesimen sehingga didapat 3 nilai kekerasan brinell. Perhitungan nilai kekerasan diperoleh dari rata-rata nilai kekerasan brinell untuk setiap spesimen. Diameter indentasi pada spesimen uji semakin menurun seiring dengan naiknya prosentase Al dalam paduan. Hal ini menyebabkan nilai kekerasan brinell semakin naik dengan bertambahnya kadar Al dalam paduan Fe-Mn-Al.

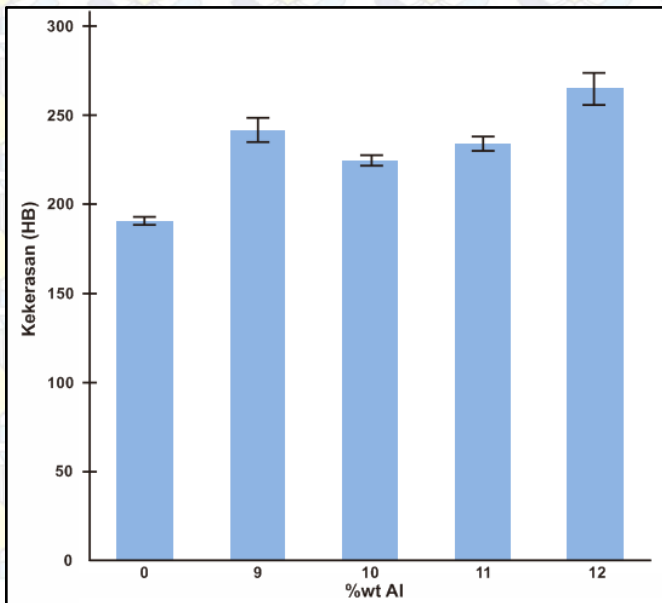
Tabel 4.2 Nilai kekerasan dari pengaruh penambahan %wt Al

Spesimen	HB
Fe26Mn-0Al	190.67 \pm 3.51
Fe26Mn-9Al	242.33 \pm 10.6
Fe26Mn-10Al	225 \pm 4.58
Fe26Mn-11Al	234 \pm 6.24
Fe26Mn-12Al	265 \pm 14



Diameter indentasi yang didapat dari hasil pengujian pada spesimen tidak selalu sama antara satu sumbu dengan sumbu lainnya. Hal ini terjadi karena terdapat kesulitan untuk menentukan tepi dari hasil indentasi pada spesimen uji namun perbedaan diameter ini masih dalam skala 10^{-5} m sehingga hanya memberi sedikit pengaruh pada hasil akhir perhitungan.

Gambar 4.2 menunjukkan nilai kekerasan brinell relatif meningkat dengan bertambahnya prosentase Al dalam paduan. Nilai kekerasan pada komposisi Fe-Mn tanpa penambahan yaitu 190.67 HB. Penambahan 9 % wt Al menghasilkan kekerasan 242.33 HB. Kekerasan pada 10 % wt Al yaitu 225 HB, sedangkan pada penambahan 11 % wt Al nilai kekerasannya 234 HB. Kekerasan pada penambahan 12 % wt Al yaitu 265 HB. Dari hasil pengujian, kekerasan minimal pada paduan Fe-Mn tanpa penambahan %wt Al yaitu 190.67 HB, sedangkan kekerasan maksimal pada komposisi penambahan 12 %wt Al yaitu 265 HB.



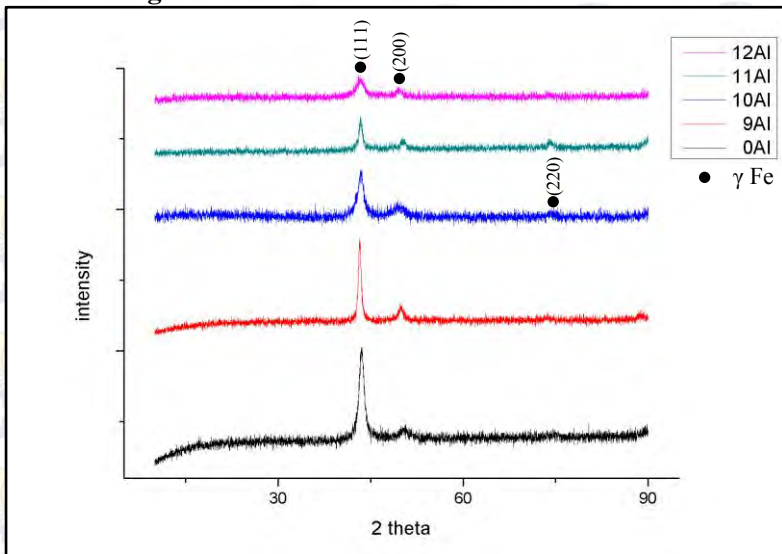
Gambar 4.2 Nilai kekerasan dari pengaruh penambahan %wt Al



Pada paduan dengan penambahan 9%wt Al terjadi peningkatan kekerasan yang tinggi hal ini dikarenakan terbentuknya karbida pada batas butir seperti tampak pada pengujian struktur mikro. Adanya karbida muncul disebabkan karena kadar karbon yang sangat tinggi dan pengaruh Aluminium yang hampir tidak ada dimana hasil pengujian spektroskopi menunjukkan demikian.

Peningkatan kekerasan terjadi pada paduan dengan penambahan dari 10, 11, dan 12%wt Al. Hal ini terjadi karena bertambahnya presipitasi karbida κ $(\text{Fe,Mn})_3\text{AlC}$ pada sekitar batas butir sehingga menyebabkan peningkatan kekerasan seperti terlihat dalam pengamatan struktur mikro paduan.

4.4 Pengamatan Hasil XRD Coran Fe-Mn-Al



Gambar 4.3 Hasil pengujian XRD Coran Paduan Fe-Mn-Al dengan penambahan %wt Al

Pengujian XRD dilakukan dengan menggunakan alat XRD *PAN Analytical* untuk mengetahui fasa yang terbentuk dari



hasil coran Fe-Mn-Al. Identifikasi hasil XRD dilakukan dengan cara mencocokkan puncak-puncak yang teridentifikasi saat pengujian XRD dengan *database* ICDD yang sesuai.

Identifikasi fasa hasil pengujian XRD pada penelitian ini melalui *search match* dengan *Software PAN Analytical High Score* serta dengan pencocokan manual dengan kartu PDF dari software ICDD untuk puncak-puncak yang teridentifikasi saat *search match* dengan sebelumnya mengidentifikasi unsur-unsur atau senyawa yang dapat muncul setelah proses melting.

Dari Hasil XRD pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa terbentuk fasa γ Fe. Dengan intensitas γ Fe yang tinggi berarti dapat dikatakan bahwa fasa γ Fe menyebar rata sehingga semua *peak* yang dihasilkan pada pengujian XRD dimiliki oleh fasa γ Fe dengan posisi puncak tertinggi berada pada 2 theta 43.3 (pdf 01-071-4649). Fasa γ Fe memiliki struktur kristal FCC dan memiliki bidang kristal (111), sedangkan pada 2 theta 50.5 yang memiliki bidang kristal (200) dan pada 2 theta 74.2 memiliki bidang kristal (220).

Dari grafik tersebut dapat dilihat adanya perubahan intensitas *peak* pada fasa austenit. Perubahan tersebut terjadi karena adanya penambahan komposisi %wt Al pada paduan. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian komposisi yang menunjukkan bertambahnya kadar Aluminium pada paduan. Sehingga semakin banyak %wt Al yang ditambahkan, maka semakin turun intensitas austenit pada paduan. Hal ini terjadi karena Aluminium merupakan pembentuk dan penstabil ferit (Avner, 1974).

4.5 Pengamatan Struktur Mikro Coran

Pengujian Metalografi dilakukan sesuai standar ASTM E407. Larutan etsa yang digunakan adalah campuran antara 30 ml HCl, 30 ml Glycerol, dan 10 ml HNO₃. Mikroskop digunakan dengan metode *Brightfield* sehingga permukaan yang tegak lurus arah lensa akan berwarna cerah, sedangkan permukaan yang tidak tegak lurus akan berwarna gelap.



Pada pengamatan struktur mikro paduan dengan penambahan 0%wt Al tampak muncul fasa tunggal berupa fasa austenit seperti terlihat dalam Gambar 4.4. Dengan penambahan 9%wt Al pada paduan terjadi perubahan struktur mikro seperti tampak pada Gambar 4.5 dimana pada batas butir terbentuk karbida. Berdasarkan hasil pengujian spektroskopi, komposisi kadar Aluminium hanya mencapai 0.120%wt sehingga pengaruh kadar Aluminium pada paduan ini hampir tidak ada. Terbentuknya karbida pada batas butir terjadi karena kadar karbon yang mencapai 1.71%wt. Berdasarkan *ASM Metal Handbook Volume 9* (2004), warna gelap yang terdapat pada *austenitic manganese steel* merupakan karbida yang terbentuk karena austenit mencapai batas kelarutan karbon maksimumnya.

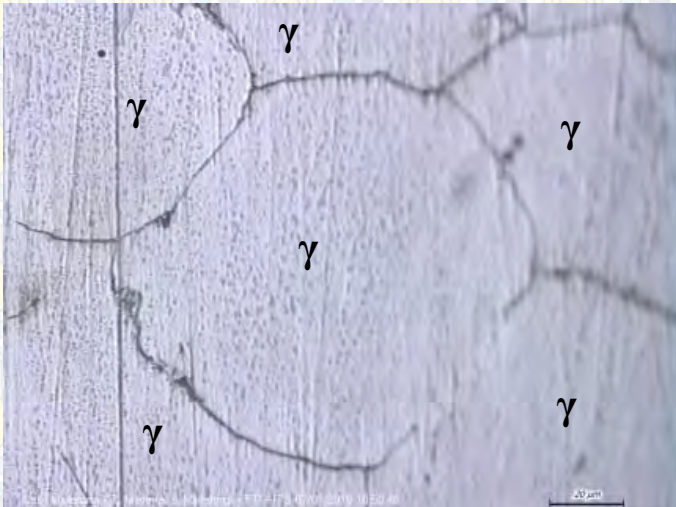
Pada paduan dengan penambahan 10%wt Al, terlihat bentuk berupa spinodal seperti terlihat pada Gambar 4.6. Menurut penelitian yang dilakukan Wei-Chun Cheng (2015), bentuk spinodal pada sekitar batas butir paduan Fe-Mn-Al-C merupakan karbida κ $(\text{Fe,Mn})_3\text{AlC}$ yang stabil pada temperatur rendah sehingga mempengaruhi kekerasan dari paduan. Dengan penambahan 11%wt Al pada paduan, tampak dalam struktur mikro yang ditunjukkan pada Gambar 4.7, butir-butir spinodal pada sekitar batas butir tampak semakin banyak seiring bertambahnya jumlah aluminium yang ditambahkan pada paduan. Pengaruh meningkatnya jumlah spinodal pada sekitar batas butir ini menyebabkan kekerasan paduan menjadi meningkat. Berdasarkan hasil pengujian komposisi menggunakan EDX pada batas butir membuktikan bahwa karbida yang terbentuk merupakan karbida $(\text{Fe,Mn})_3\text{AlC}$ terlihat pada Gambar 4.9.

Pada paduan dengan penambahan 12%wt Al pada paduan, seperti terlihat pada Gambar 4.8 seiring bertambahnya kadar Aluminium pada paduan menyebabkan karbida pada sekitar batas butir menjadi meningkat. Hal ini didukung dengan meningkatnya kadar karbon pada paduan seperti yang ditunjukkan dalam hasil pengujian spektroskopi dimana kadar karbon mencapai 2,47%. Hal ini sangat mempengaruhi kekerasan

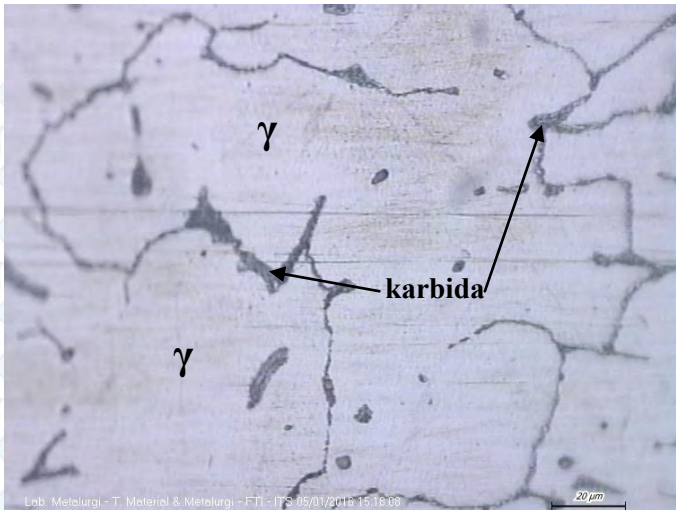


dari paduan seperti terlihat dalam pengujian kekerasan, dimana hasil uji kekerasan menunjukkan terjadinya nilai kekerasan paduan.

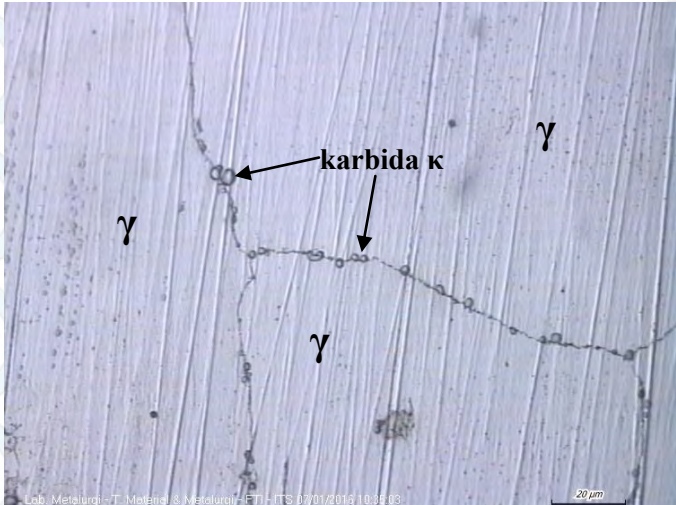
Presipitasi karbida pada sekitar batas butir dalam struktur mikro semakin banyak dengan adanya penambahan Aluminium. Penambahan Aluminium dalam jumlah yaitu 9-12 persen dari berat total menyebabkan terbentuknya karbida κ ($\text{Fe,Mn}_3\text{AlC}$) pada paduan. Penambahan Aluminium memberikan efek semakin meningkatnya presipitasi karbida pada batas butir. Terbentuknya karbida pada batas butir memberikan kekerasan pada paduan Fe-Mn-Al.



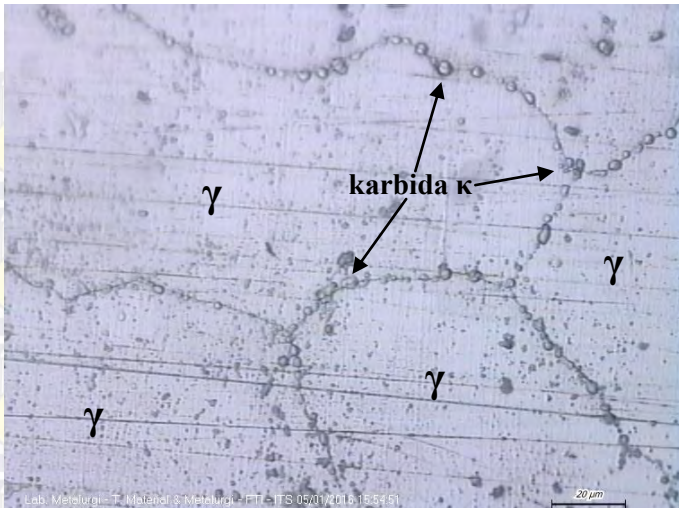
Gambar 4.4 Struktur Mikro Paduan Fe26Mn-0Al
perbesaran 500x



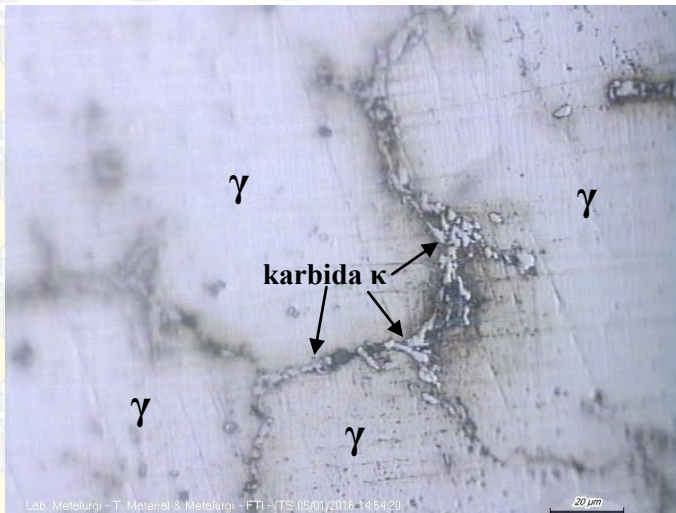
Gambar 4.5 Struktur Mikro Paduan Fe26Mn-9Al
perbesaran 500x



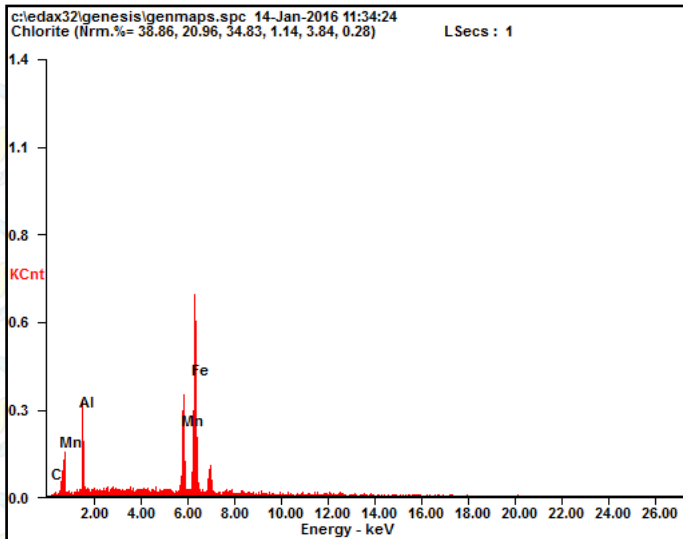
Gambar 4.6 Struktur Mikro Paduan Fe26Mn-10Al
perbesaran 500x



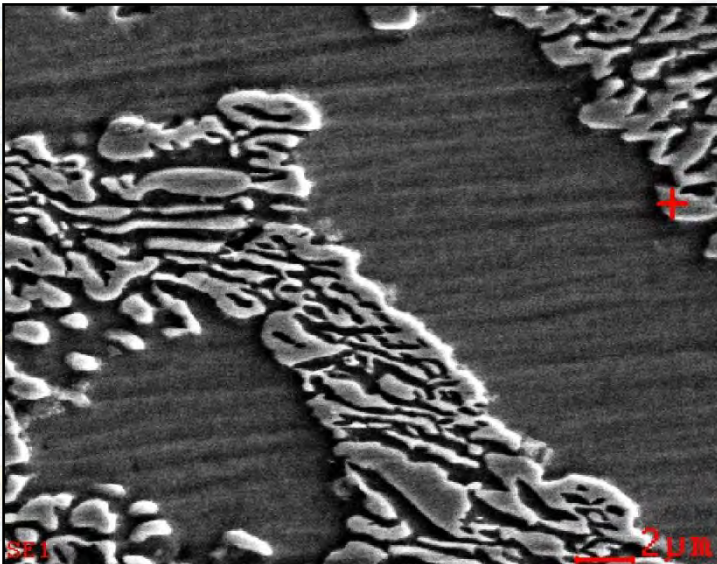
Gambar 4.7 Struktur Mikro Paduan Fe26Mn-11Al
perbesaran 500x



Gambar 4.8 Struktur Mikro Paduan Fe26Mn-12Al
perbesaran 500x



Gambar 4.9. Hasil pengujian EDX pada batas butir paduan



Gambar 4.10. Titik pengujian komposisi EDX pada batas butir



(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari studi ini adalah :

1. Penambahan unsur paduan Aluminium pada paduan Fe-Mn-Al dapat meningkatkan nilai kekerasan. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada paduan dengan penambahan 12%wt Al, yaitu 265 HB.
2. Penambahan unsur paduan Aluminium pada paduan Fe-Mn-Al mempengaruhi bentuk morfologi strukturmikro. Penambahan Aluminium pada paduan Fe-Mn-Al memperbesar karbida κ (Fe,Mn)₃AlC pada batas butir.

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya disarankan :

1. Penggunaan elektroda karbon pada saat peleburan tidak disarankan karena akan meningkatkan kadar karbon yang terlarut dalam hasil coran.
2. Penggunaan furnace induksi dengan kondisi vakum untuk mengurangi impurities pada paduan.

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 1990. *ASM Handbook Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. ASM International Handbook Committee.
- _____. 1990. *ASM Handbook Volume 3: Alloy Phase Diagram*. ASM International Handbook Committee.
- ASTM International. (2000). Standard Specification for General Requirement for Wire Rod and Coarse Round Wire, Carbon Steel. In ASTM A510M, *Annual Book of ASTM Standards Vol 1* (p. 3). West Conshohocken: ASTM International.
- Avner, S. H. 1974. *Introduction to Physical Metallurgy*. New York: McGraw-Hill International Book Company.
- Bain, C.E. 1966. *Alloying Element in Steel*. New York: American Society for Metal.
- Callister, D. William. 2010. *Materials Science and Engineering an Introduction*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Cardarelli, F. (2008). *Materials Handbook A Concise Desktop Reference Second Edition*. London: Springer.
- Cheng, Wei-Chun. 2015. *Phase transformation of the $L1_2$ phase to kappa-carbide after spinodal decomposition and ordering in an Fe–C–Mn–Al austenitic steel*. Materials Science & Engineering A642(2015) 128–135.
- Chiou, Su-Tang., Cheng, Wei-Chun., Lee, Woei-Shyan. 2004. *The analysis of the microstructure changes of a Fe–Mn–Al alloy under dynamic impact tests*. Materials Science and Engineering A 386: 460–467.
- Creese, R.C. 1999. *Introduction to Manufacturing Processes and Materials*. New York: Marcel Dekker, Inc.

- Kim, Jung-Su., Shin, Sang Yong., Eun Jung, Joong., Park, Jae Young., Chang, Young Won. 2014. *Effects of tempering temperature on microstructure and tensile properties of Fe-12Mn steel*. Materials Science & Engineering A 640: 171–179.
- Koyama, Motomichi., Lee, Taekyung., Lee, Chong Soo., Tsuzaki, Kaneaki. 2013. *Grain refinement effect on cryogenic tensile ductility in a Fe-Mn-C twinning-induced plasticity steel*. Materials and Design 49: 234–241.
- Liu, X.J., Ohnuma, I., Kainuma, R., Ishida, K. 1998. *Thermodynamic Assessment of the Aluminum-Manganese (Al-Mn) Binary Phase Diagram*. Journal of Phase Equilibria Vol. 20 No. 1.
- Lyszkowski, Radosław., Bystrzycki, Jerzy. *Hot deformation and processing maps of a Fe-Al intermetallic alloy*. Materials Characterization 96: 196–205.
- Phan, Anh Thu., Paek, Min-Kyu., Kang, Youn-Bae. 2014. *Phase equilibria and thermodynamics of the Fe-Al-C system: Critical evaluation, experiment and thermodynamic optimization*. Acta Materialia 79: 1–15.
- Seol, Jae-Bok., Raabe, Dierk., Choi, P., Park, Hyung-Seok., Kwak, J.H., Park, Chan-Gyung. 2013. *Direct evidence for the formation of ordered carbides in a ferrite-based low-density Fe-Mn-Al-C alloy studied by transmission electron microscopy and atom probe tomography*. Scripta Materialia 68: 348–353.
- Smith, F. William. 1994. *Structure and Properties of Engineering Alloys*. New York: McGraw-Hill International Book Company.
- Song, Changjiang., Xia, Wenbin., Zhang, Jun., Guo, Yuanyi., Zhai, Qijie. 2013. *Microstructure and mechanical*

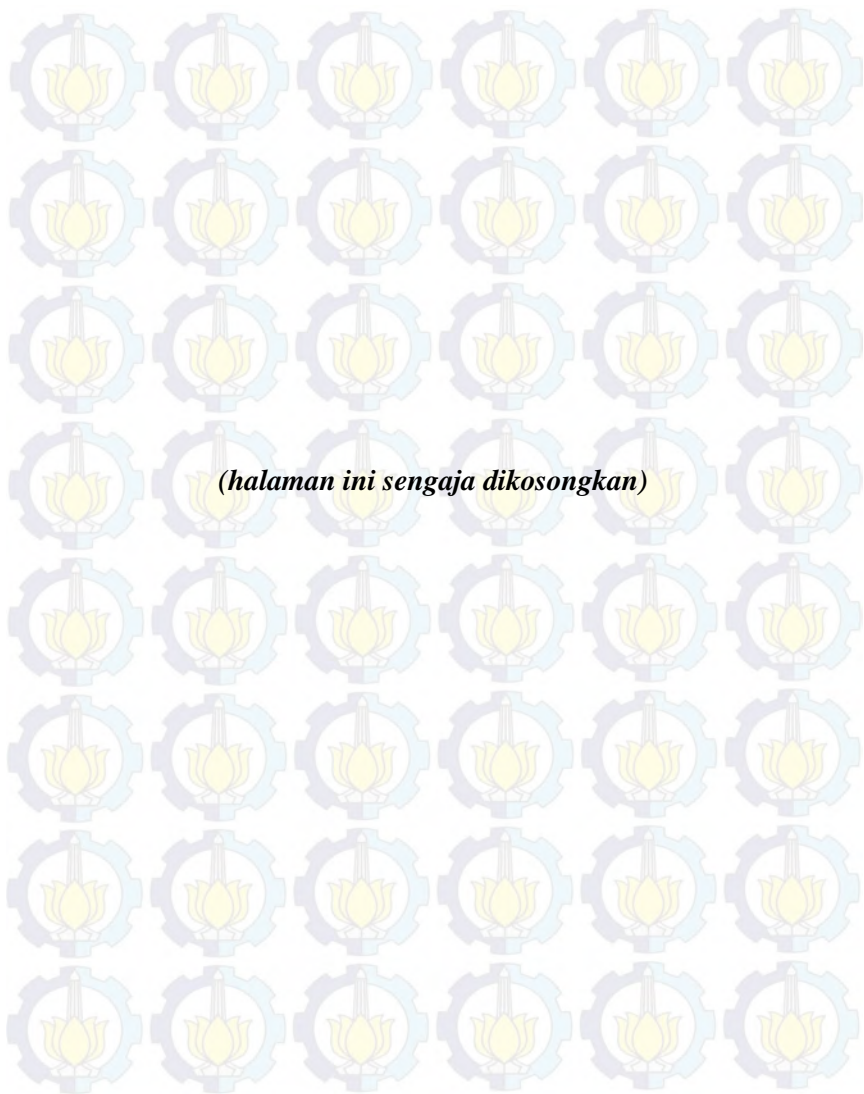
properties of Fe–Mn based alloys after sub-rapid solidification. Materials and Design 51: 262–267.

Su, C.W., Lee, J.W., Wang, C.S., Chao, C.G., Liu, T.F. 2008. *The effect of hot-dipped aluminum coatings on Fe-8Al-30Mn-0.8C alloy.* Surface & Coatings Technology 202: 1847–1852.

Surdia, Tata., Saito, Shinroku. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik.* Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

Wu, Z.Q., Ding, H., An, X.H., Han, D., Liao, X.Z. 2015. *Influence of Al content on the strain-hardening behavior of aged low density Fe–Mn–Al–C steels with high Al content.* Materials Science & Engineering A 639: 187–191.

Yang, Fuqiang., Song, Renbo., Li, Yaping., Sun, Ting., Wang, Kaikun. 2015. *Tensile deformation of low density duplex Fe–Mn–Al–C steel.* Materials and Design 76: 32–39.



Lampiran 1

Hasil Pengujian Komposisi

Hasil Uji Komposisi Paduan Fe26Mn9Al

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID : 9Al

Material :

Customer :

Dimension :

Lab-no. :

Heat-no. :

Operator :

Ka. Laboratorium :

Date :

Spektralanalyse Foundry-MASTER Grade

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	75.3	1.69	0.541	>18.50	0.0440	0.0028	0.464	0.0044
2	75.8	1.71	0.519	>18.50	0.0382	0.0019	0.472	0.0043
3	75.4	1.75	0.523	>18.50	0.0395	0.0025	0.471	0.0044
Ave	75.8	1.71	0.528	>18.50	0.0406	0.0024	0.469	0.0044
	Ni	Al	Co	Cu	Mg	Nb	Ti	V
1	0.0460	> 0.120	0.0669	< 0.0010	0.0115	< 0.0010	0.0078	0.221
2	0.0463	> 0.120	0.0668	< 0.0010	0.0118	< 0.0010	0.0059	0.223
3	0.0473	> 0.120	0.0672	< 0.0010	0.0118	< 0.0010	0.0042	0.223
Ave	0.0465	> 0.120	0.0670	< 0.0010	0.0117	< 0.0010	0.0060	0.222
	W	Pb	Sn	B	Ca	Ce	Zr	Zn
1	0.0210	> 0.100	0.104	< 0.0001	< 0.0001	> 0.120	0.0168	0.0052
2	0.0219	> 0.100	0.0985	< 0.0001	< 0.0001	> 0.120	0.0214	0.0044
3	0.0218	> 0.100	0.101	< 0.0001	< 0.0001	> 0.120	0.0189	0.0044
Ave	0.0216	> 0.100	0.101	< 0.0001	< 0.0001	> 0.120	0.0190	0.0047
	Bi	As	Se	Te	Sb	La		
1	0.0046	< 0.0005	0.0012	0.0013	0.0110	0.0110		
2	0.0057	< 0.0005	< 0.0010	0.0062	0.0091	0.0109		
3	0.0056	< 0.0005	0.0010	0.0041	0.0130	0.0109		
Ave	0.0053	< 0.0005	0.0010	0.0039	0.0110	0.0109		

Hasil Uji Komposisi Paduan Fe26Mn10Al

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID : 10Al

Material :

Customer :

Dimension :

Lab-no. :

Heat-no. :

Operator :

Ka. Laboratorium :

Date:

Spektralanalyse Foundry-MASTER

Grade :

Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1 76.3	1.22	1.21	>20.0	0.0535	0.0049	0.309	0.0041
2 74.8	1.09	1.19	>20.0	0.0595	0.0038	0.296	0.0041
3 75.4	1.17	1.18	>20.0	0.0540	0.0055	0.312	0.0042
Ave 75.5	1.16	1.19	>20.0	0.0557	0.0047	0.307	0.0041
Ni	Al	Co	Cu	Mg	Nb	Ti	V
1 0.0423	> 0.50	0.0441	< 0.0010	0.0168	< 0.0010	0.0043	0.0287
2 0.0403	> 0.50	0.0433	< 0.0010	0.0153	< 0.0010	0.0067	0.0276
3 0.0417	> 0.50	0.0438	< 0.0010	0.0162	< 0.0010	0.0056	0.0281
Ave 0.0414	> 0.50	0.0437	< 0.0010	0.0161	< 0.0010	0.0055	0.0281
W	Pb	Sn	B	Ca	Ce	Zr	Zn
1 > 0.0600	< 0.0050	0.107	< 0.0001	< 0.0001	> 0.120	0.0157	0.0043
2 > 0.0600	< 0.0050	0.105	< 0.0001	< 0.0001	> 0.120	0.0149	0.0051
3 > 0.0600	< 0.0050	0.104	< 0.0001	< 0.0001	> 0.120	0.0181	0.0046
Ave > 0.0600	< 0.0050	0.105	< 0.0001	< 0.0001	> 0.120	0.0156	0.0047
Bi	As	Se	Te	Sb	La		
1 0.0052	< 0.0005	0.0013	0.0027	0.0107	0.0121		
2 0.0043	< 0.0005	0.0021	0.0039	0.0114	0.0117		
3 0.0055	< 0.0005	< 0.0010	0.0056	0.0121	0.0119		
Ave 0.0050	< 0.0005	0.0015	0.0041	0.0114	0.0119		

Hasil Uji Komposisi Paduan Fe26Mn11Al

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID : 11Al

Material :

Customer :

Dimension :

Lab-no. :

Heat-no. :

Operator :

Ka. Laboratorium :

Date:

Spektralanalyse Foundry-MASTER

Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	74.7	1.09	1.01	>20.0	0.0685	0.0061	0.110	< 0.0050
2	74.7	1.08	1.00	>20.0	0.0708	0.0079	0.107	< 0.0050
3	74.3	1.10	1.00	>20.0	0.0700	0.0072	0.0939	< 0.0050
Ave	74.6	1.08	1.00	>20.0	0.0698	0.0071	0.104	< 0.0050
	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
1	0.0312	> 1.50	0.0332	0.0467	< 0.0050	0.0076	0.0307	0.0165
2	0.0316	> 1.50	0.0332	0.0474	< 0.0050	0.0073	0.0376	0.0187
3	0.0244	> 1.50	0.0342	0.0456	< 0.0050	0.0077	0.0392	0.0151
Ave	0.0291	> 1.50	0.0335	0.0465	< 0.0050	0.0075	0.0358	0.0168
	Pb							
1	< 0.0050							
2	< 0.0050							
3	< 0.0050							
Ave	< 0.0050							

Hasil Uji Komposisi Paduan Fe26Mn12Al

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID : 12Al

Material :

Customer :

Dimension :

Lab.no. :

Heat.no. :

Operator :

Ka. Laboratorium :

Date :

Spektralanalisa Foundry-MASTER Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	75.1	3.02	3.08	>21.0	0.0735	0.106	0.369	0.0344
2	70.3	2.58	3.46	>21.0	0.0763	0.112	0.312	0.0345
3	60.0	1.82	> 3.50	>21.0	0.0289	0.0861	0.209	0.0425
Ave	68.4	2.47	> 3.50	>21.0	0.0595	0.101	0.296	0.0371
	Ni	Al	Ce	Cu	Mg	Nb	Ti	V
1	0.0527	> 2.50	0.0168	< 0.0010	0.0240	< 0.0010	0.0208	0.0220
2	0.0415	> 2.50	0.0141	< 0.0010	0.0187	< 0.0010	0.0177	0.0242
3	0.426	> 2.50	0.0119	< 0.0010	0.0201	< 0.0010	0.0157	0.0230
Ave	0.173	> 2.50	0.0142	< 0.0010	0.0203	< 0.0010	0.0190	0.0231
	W	Pb	Sn	B	Ca	Ce	Zr	Zn
1	> 0.0600	0.0107	> 0.250	0.0054	> 0.0070	> 0.120	< 0.0010	> 0.0300
2	> 0.0600	0.0011	> 0.250	< 0.0001	> 0.0070	> 0.120	< 0.0010	> 0.0300
3	> 0.0600	0.0372	> 0.250	< 0.0001	> 0.0070	> 0.120	< 0.0010	> 0.0067
Ave	> 0.0600	0.0163	> 0.250	0.0018	> 0.0070	> 0.120	< 0.0010	> 0.0300
	Bi	As	Se	Te	Sb	La		
1	> 0.0240	0.0196	< 0.0010	> 0.0350	0.112	> 0.0200		
2	> 0.0240	0.0327	0.0083	> 0.0350	0.125	> 0.0200		
3	> 0.0240	0.0268	0.0023	< 0.0010	< 0.0010	> 0.0200		
Ave	> 0.0240	0.0264	0.0035	> 0.0350	0.0793	> 0.0200		

Kampus ITS Sukolilo
H. T. Sukolilo

Hasil Uji Komposisi Paduan Fe26Mn

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID: Fe28Mn

Material:

Customer:

Dimension:

Lab.no.:

Heat.no.:

Operator:

Ka. Laboratorium:

Date:

Spektalanalyse Foundry-MASTER

Grade

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	76.9	0.71	1.05	>18.50	0.0521	0.0041	0.303	0.0041
2	75.7	0.62	1.07	>18.50	0.0534	0.0037	0.289	0.0042
3	75.9	0.65	1.11	>18.50	0.0541	0.0047	0.307	0.0042
Ave	76.2	0.66	1.08	>18.50	0.0532	0.0042	0.299	0.0042
	Ni	Al	Co	Cu	Mg	Nb	Ti	V
1	0.0423	< 0.0005	0.0423	< 0.0010	0.0157	< 0.0010	0.0051	0.0191
2	0.0421	< 0.0005	0.0417	< 0.0010	0.0153	< 0.0010	0.0047	0.0187
3	0.0424	< 0.0005	0.0403	< 0.0010	0.0161	< 0.0010	0.0056	0.0193
Ave	0.0426	< 0.0005	0.0414	< 0.0010	0.0157	< 0.0010	0.0051	0.0190
	W	Pb	Sn	B	Ca	Ce	Zr	Zn
1	> 0.0600	< 0.0050	0.103	< 0.0001	< 0.0001	> 0.120	0.0137	0.0041
2	> 0.0600	< 0.0050	0.107	< 0.0001	< 0.0001	> 0.120	0.0136	0.0047
3	> 0.0600	< 0.0050	0.109	< 0.0001	< 0.0001	> 0.120	0.0141	0.0053
Ave	> 0.0600	< 0.0050	0.108	< 0.0001	< 0.0001	> 0.120	0.0138	0.0047
	Bi	As	Sa	Ta	Sb	La		
1	0.0041	< 0.0005	0.0019	0.0029	0.0115	0.0123		
2	0.0049	< 0.0005	0.0017	0.0041	0.0117	0.0116		
3	0.0048	< 0.0005	0.0018	0.0036	0.0121	0.0116		
Ave	0.0045	< 0.0005	0.0018	0.0035	0.0118	0.0119		

Hasil Uji Komposisi Aluminium Ingot

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID : 1 (T-MATERIAL) ITS Material : Aluminium Ingot
Customer : Sdr. Huffal Azhar F Dimension : -
Lab-no. : Uji Bahan Heat-no. : -
Operator : elham Ka. Laboratorium : M. THORIQ WAHYUDI
Date : 10/30/2015

Spektralanalyse Foundry-MASTER Grade

	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr
1	97.7	0.261	0.875	0.0537	0.121	0.0015	0.788	0.0248
2	97.7	0.255	0.854	0.0528	0.110	0.0012	0.789	0.0223
3	97.8	0.276	0.822	0.0519	0.0917	0.0010	0.785	0.0176
Ave	97.7	0.264	0.850	0.0528	0.107	0.0012	0.788	0.0216
	Ni	Ti	Be	Ca	Li	Pb	Sn	Sr
1	0.0074	0.0125	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.0513	0.0022	< 0.0001
2	0.0067	0.0138	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.0516	0.0043	< 0.0001
3	0.0061	0.0127	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.0547	0.0039	< 0.0001
Ave	0.0067	0.0130	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.0525	0.0034	< 0.0001
	V	Na	Bi	Zr	B	Ga	Cd	Co
1	0.0067	0.0001	< 0.0005	< 0.0003	< 0.0002	0.0128	0.0028	0.0026
2	0.0091	< 0.0001	0.0013	< 0.0003	< 0.0002	0.0114	0.0030	0.0025
3	0.0072	< 0.0001	< 0.0005	< 0.0003	< 0.0002	0.0113	0.0027	0.0024
Ave	0.0077	< 0.0001	< 0.0005	< 0.0003	< 0.0002	0.0118	0.0028	0.0025
	Ag	Hg	In	Sb	P	As	Ce	La
1	0.0028	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0050	< 0.0030	0.0071	0.0060	0.0031
2	0.0002	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0050	0.0053	< 0.0030	0.0033	0.0018
3	0.0001	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0050	0.0069	0.0045	0.0028	0.0025
Ave	0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0050	0.0047	0.0038	0.0040	0.0025

Kampus ITS Sukolilo
Jl. Telekomunikasi

Surabaya, 30 Oktober 2015
elham
(Elham A)

Hasil Uji Komposisi AISI 1006

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID : 1

Material :

CARBON STEEL

Customer : ADHA ISORI HARTATA

Dimension :

-

Lab-no. : UJI BAHAN

Heat-no. :

-

Operator : ELHAM

Ka. Laboratorium :

M.THORIQ WAHYUDI

Date: 3/31/2015

Spektralanalyse Foundry-MASTER

Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	99.5	0.0376	0.0205	0.211	0.0094	0.0089	0.0304	< 0.0050
2	99.5	0.0373	0.0199	0.208	0.0092	0.0079	0.0253	< 0.0050
3	99.5	0.0324	0.0195	0.211	0.0088	0.0072	0.0270	< 0.0050
Ave	99.5	0.0358	0.0200	0.210	0.0091	0.0080	0.0276	< 0.0050

	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
1	0.0305	0.0464	< 0.0050	0.0363	0.0103	0.0096	< 0.0050	< 0.0050
2	0.0308	0.0449	< 0.0050	0.0377	0.0122	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0050
3	0.0264	0.0450	< 0.0050	0.0384	0.0196	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0050
Ave	0.0292	0.0454	< 0.0050	0.0375	0.0140	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0050

	Pb
1	< 0.0050
2	< 0.0050
3	< 0.0050
Ave	< 0.0050

Kampus ITS Sukolilo
Jl. Telekomunikasi

Sertifikat Komposisi Ferromangan

Name of Goods: MEDIUM CARBON FERRO MANGANESE

SIMPAC METAL CO. LTD

Buyer: PT MAKMUR META GRAHA DINAMIKA

438 JEONGMI-RO, JEONGMI-MI

JL. ROA MALAKA SELATAN NO. 28/10

CHUNGCHEONGNAM-DO, 343-

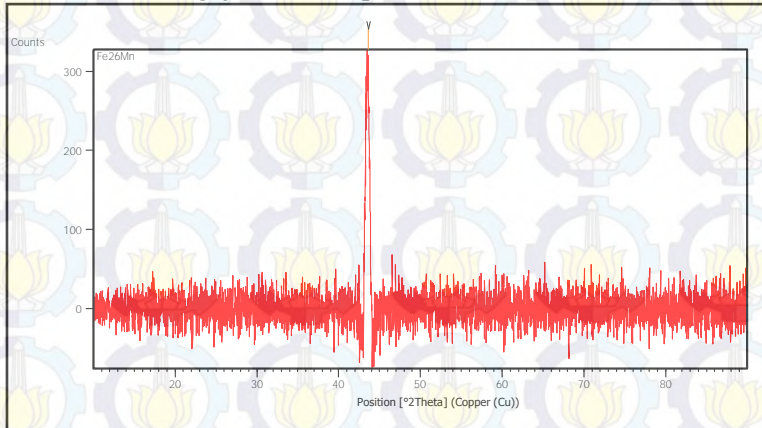
JAKARTA 11230

	Chemical Composition(%)					Size(%)			Remarks
	Mn	Si	C	P	S	-10mm	10~50mm	+ 50mm	
FeMn(MC)	76.25	0.35	1.92	0.201	0.0031	3.30	96.54	0.16	

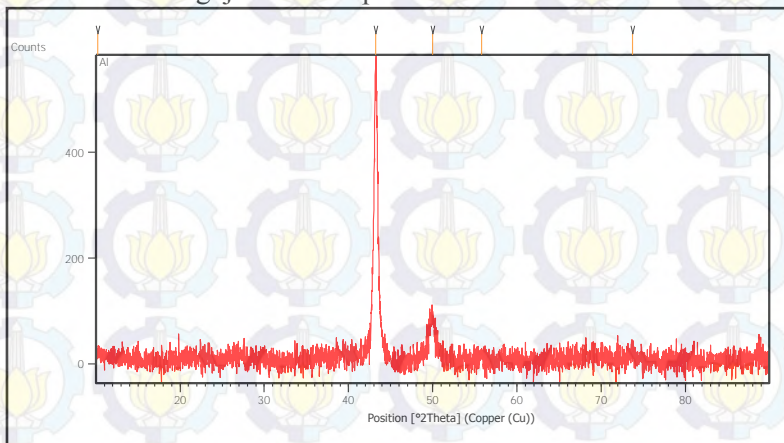
Lampiran 2

Hasil Pengujian XRD

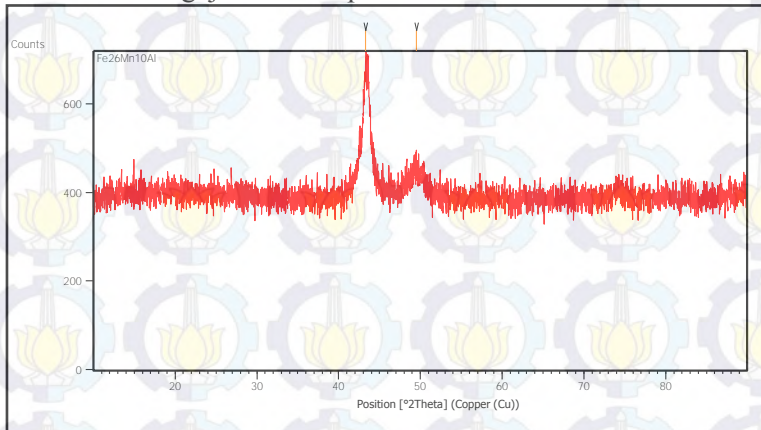
Hasil Pengujian XRD Spesimen Paduan Fe26Mn0Al



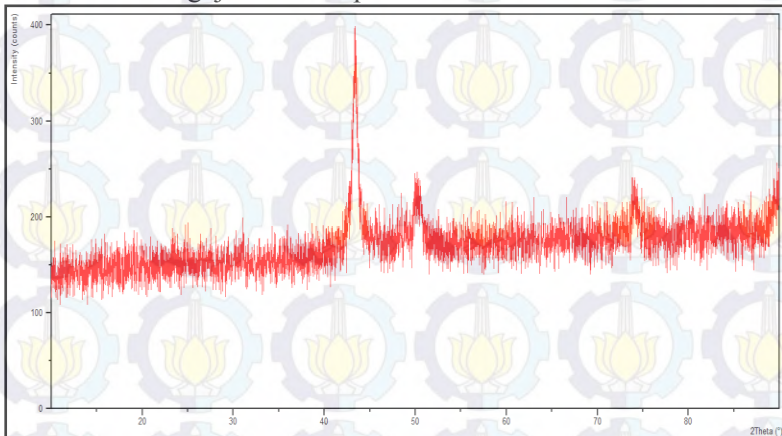
Hasil Pengujian XRD Spesimen Paduan Fe26Mn9Al



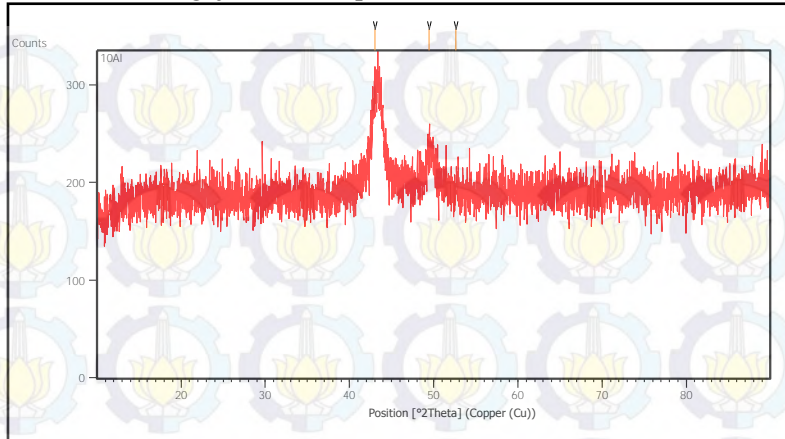
Hasil Pengujian XRD Spesimen Paduan Fe26Mn10Al



Hasil Pengujian XRD Spesimen Paduan Fe26Mn11Al



Hasil Pengujian XRD Spesimen Paduan Fe26Mn12Al





(halaman ini sengaja dikosongkan)

Lampiran 3

PDF Card

Name and formula

Reference code: 01-071-4649

Compound name: Iron

Empirical formula: Fe

Chemical formula: Fe

Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic

Space group: Fm-3m

Space group number: 225

a (Å): 3.6100

b (Å): 3.6100

c (Å): 3.6100

Alpha (°): 90.0000

Beta (°): 90.0000

Gamma (°): 90.0000

Volume of cell (10^6 pm^3): 47.05

Z: 4.00

RIR: 7.93

Status, subfiles and quality

Status: Diffraction data collected at non ambient temperature

Alternate Pattern

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic

ICSD Pattern

Inorganic

Quality:

Indexed (I)

Comments

ANX: N
Creation Date: 11/20/2008
Modification Date: 1/19/2011
ANX: N
Analysis: Fe1
Formula from original source: Fe
ICSD Collection Code: 53803
Calculated Pattern Original Remarks: Stable between 1183 and 1663 K,
m.p. 1808 K
Cell at 1373 K: 3.64, at 1698 K: 3.69 (together
with delta-form, 2nd reference).
Temperature of Data Collection:
1273 K. Minor Warning: No e.s.d
reported/abstracted on the cell
dimension. No R factors
reported/abstracted. Wyckoff
Sequence: a(FM3-M). Unit Cell
Data Source: Single Crystal.

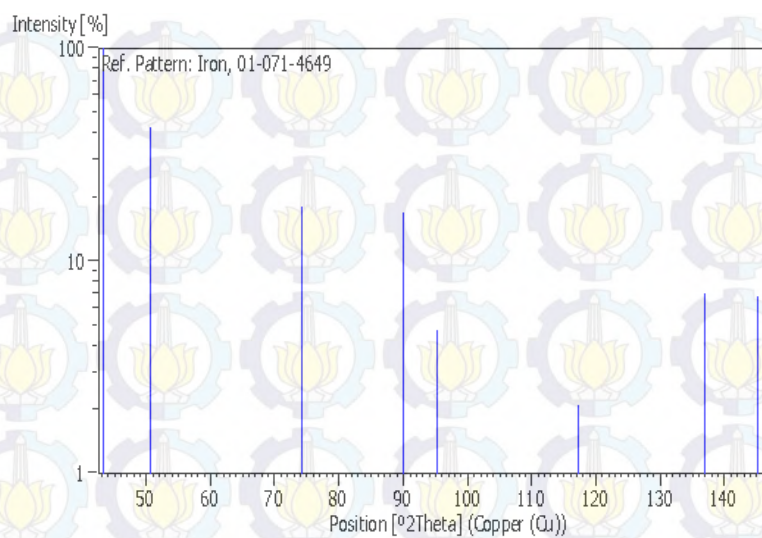
References

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-
12++*
Structure: Westgren, A., Lindh, A.E., *Z. Phys.
Chem. (Leipzig)*, **98**, 181, (1921)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	1	1	2.08420	43.381	100.0
2	2	0	0	1.80500	50.524	42.7
3	2	2	0	1.27630	74.248	18.0
4	3	1	1	1.08850	90.091	16.9
5	2	2	2	1.04210	95.323	4.7
6	4	0	0	0.90250	117.193	2.1
7	3	3	1	0.82820	136.898	7.0
8	4	2	0	0.80720	145.218	6.8

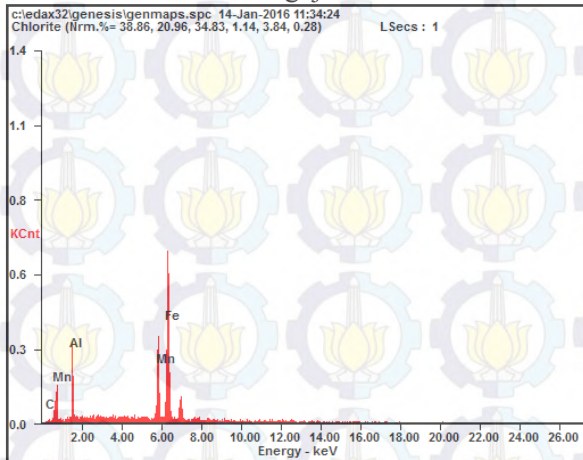
Stick Pattern



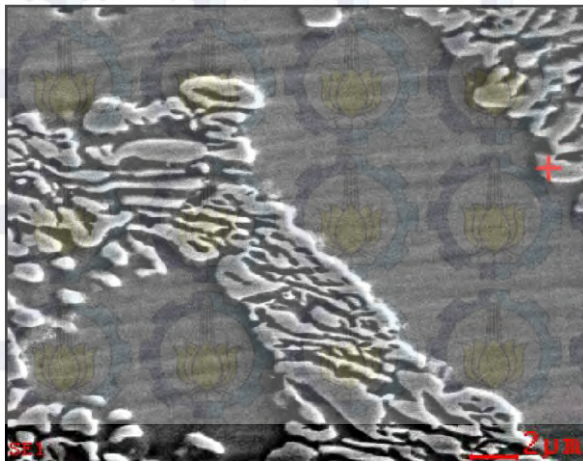


Lampiran 4

Hasil Pengujian EDX



Element	Wt%	At%
CK	02.96	10.66
AlK	16.62	26.67
MnK	26.14	20.60
FeK	54.28	42.07
Matrix	Correction	ZAF





(halaman ini sengaja dikosongkan)

Lampiran 5

Perhitungan Mass Balance Fe26Mn

Bahan Baku	Komposisi Bahan Lebur							Jumlah (Gram)	Jumlah (%)	Kontribusi terhadap Paduan						
	Fe	Mn	C	Al	Si	P	S			Fe	Mn	C	Al	Si	P	S
AISI 1006	99,50	0,21	0,04	0,05	0,02	0,01	0,01	14,17	56,69	56,41	0,12	0,02	0,03	0,01	0,01	0,00
FerroMangan	21,30	76,25	1,92	0,00	0,35	0,20	0,00	8,52	34,10	7,26	26,00	0,65	0,00	0,12	0,07	0,00
Aluminium	0,85	0,11	0,00	97,70	0,26	0,00	0,00	2,30	9,21	0,08	0,01	0,00	9,00	0,02	0,00	0,00
sub total								25,00	100,00	63,75	26,13	0,67	9,03	0,16	0,07	0,00

Perhitungan Mass Balance Fe26Mn9Al

Bahan Baku	Komposisi Bahan Lebur							Jumlah (Gram)	Jumlah (%)	Kontribusi terhadap Paduan						
	Fe	Mn	C	Al	Si	P	S			Fe	Mn	C	Al	Si	P	S
AISI 1006	99,50	0,21	0,04	0,05	0,02	0,01	0,01	13,92	55,67	55,39	0,12	0,02	0,03	0,01	0,01	0,00
FerroMangan	21,30	76,25	1,92	0,00	0,35	0,20	0,00	8,52	34,10	7,26	26,00	0,65	0,00	0,12	0,07	0,00
Aluminium	0,85	0,11	0,00	97,70	0,26	0,00	0,00	2,56	10,24	0,08	0,01	0,00	10,00	0,02	0,00	0,00
sub total								25,00	100,00	62,73	26,13	0,67	10,03	0,16	0,07	0,00

Perhitungan Mass Balance Fe26Mn10Al

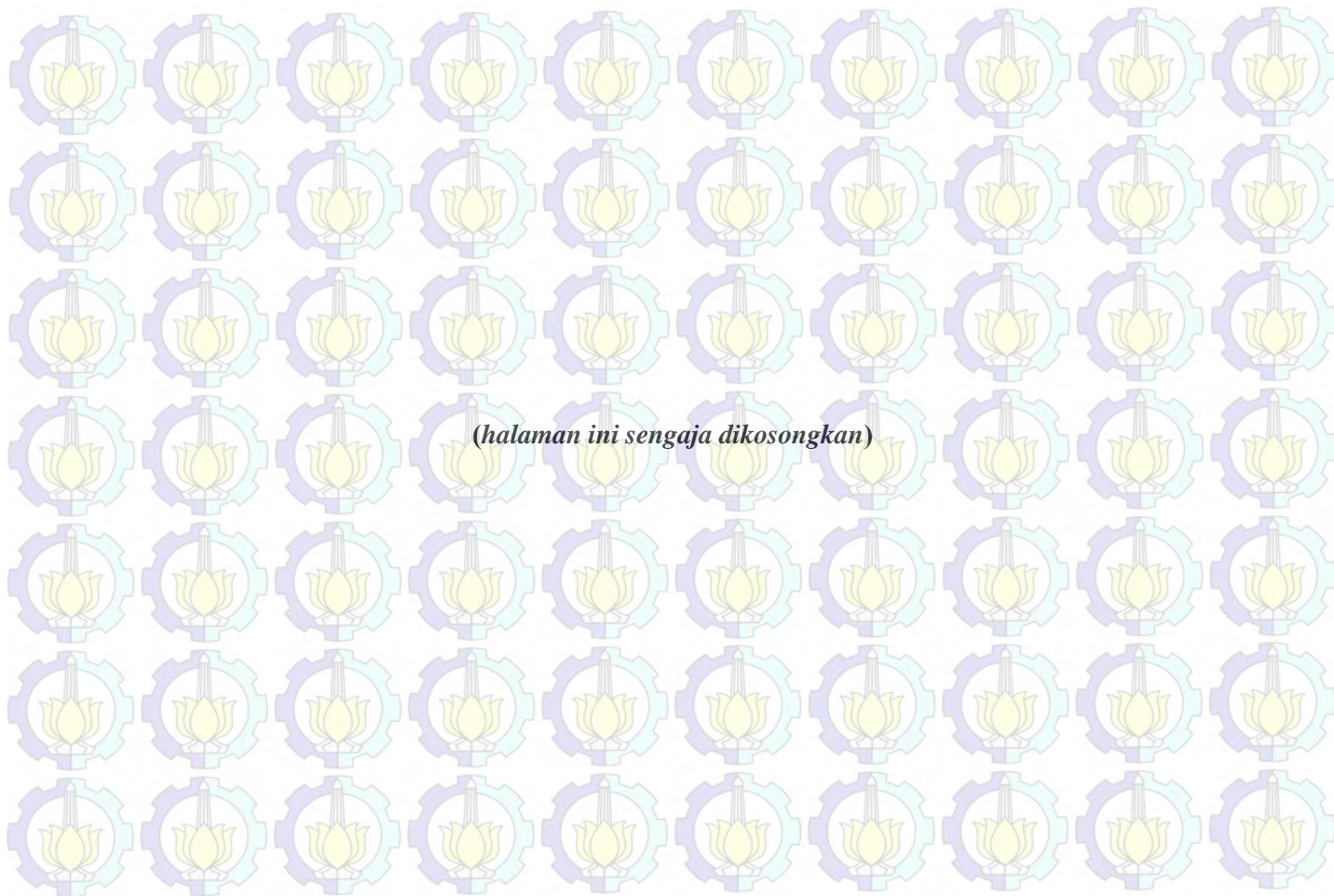
Bahan Baku	Komposisi Bahan Lebur							Jumlah (Gram)	Jumlah (%)	Kontribusi terhadap Paduan						
	Fe	Mn	C	Al	Si	P	S			Fe	Mn	C	Al	Si	P	S
AISI 1006	99,50	0,21	0,04	0,05	0,02	0,01	0,01	13,66	54,64	54,37	0,12	0,02	0,03	0,01	0,01	0,00
FerroMangan	21,30	76,25	1,92	0,00	0,35	0,20	0,00	8,52	34,10	7,26	26,00	0,65	0,00	0,12	0,07	0,00
Aluminium	0,85	0,11	0,00	97,70	0,26	0,00	0,00	2,81	11,26	0,08	0,01	0,00	11,00	0,02	0,00	0,00
sub total								25,00	100,00	61,71	26,13	0,67	11,03	0,16	0,07	0,00

Perhitungan Mass Balance Fe26Mn11Al

Bahan Baku	Komposisi Bahan Lebur							Jumlah (Gram)	Jumlah (%)	Kontribusi terhadap Paduan						
	Fe	Mn	C	Al	Si	P	S			Fe	Mn	C	Al	Si	P	S
AISI 1006	99,50	0,21	0,04	0,05	0,02	0,01	0,01	13,40	53,62	53,35	0,12	0,02	0,03	0,01	0,01	0,00
FerroMangan	21,30	76,25	1,92	0,00	0,35	0,20	0,00	8,52	34,10	7,26	26,00	0,65	0,00	0,12	0,07	0,00
Aluminium	0,85	0,11	0,00	97,70	0,26	0,00	0,00	3,07	12,28	0,08	0,01	0,00	12,00	0,02	0,00	0,00
sub total								25,00	100,00	60,69	26,13	0,67	12,03	0,16	0,07	0,00

Perhitungan Mass Balance Fe26Mn12Al

Bahan Baku	Komposisi Bahan Lebur							Jumlah (Gram)	Jumlah (%)	Kontribusi terhadap Paduan						
	Fe	Mn	C	Al	Si	P	S			Fe	Mn	C	Al	Si	P	S
AISI 1006	99,50	0,21	0,04	0,05	0,02	0,01	0,01	16,48	65,90	65,57	0,12	0,02	0,03	0,01	0,01	0,00
FerroMangan	21,30	76,25	1,92	0,00	0,35	0,20	0,00	8,52	34,10	7,26	26,00	0,65	0,00	0,12	0,07	0,00
Aluminium	0,85	0,11	0,00	97,70	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
sub total								25,00	100,00	72,91	26,13	0,67	0,03	0,16	0,07	0,00



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Huffal Azhar Fadly dilahirkan di kota Sidoarjo, 15 April 1994, merupakan putra dari pasangan Bapak Nuril Huda dan Ibu Zanuba Inti Salamah. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu SDN Candi 1, SMP Negeri 3 Sidoarjo, dan SMA Negeri 2 Sidoarjo. Setelah lulus dari SMA tahun 2012, penulis diterima menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik

Material dan Metalurgi FTI-ITS.

Penulis aktif sebagai staff Divisi Aplikatif Badan Semi Otonom (BSO) Material Techno Club periode 2013/2014. Aktif sebagai Kepala Divisi Aplikatif BSO Material Techno Club 2014/2015.

Dalam kegiatan akademik, penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PT FSCM Manufacturing Indonesia Plant 4, Sidoarjo. Di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ini penulis mengambil Tugas Akhir dalam Bidang Studi Metalurgi Manufaktur.

Alamat penulis saat ini adalah Desa Candi Sayang, Kecamatan Candi, Sidoarjo. Nomor telepon selular yang dapat dihubungi 081217473530 atau alamat email *huffal10@gmail.com*.